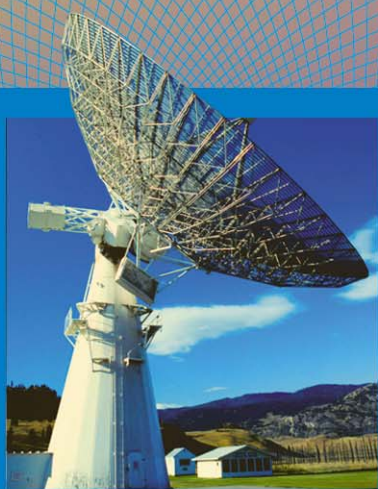
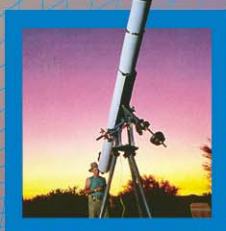


Joko Sumarsono

# Fisika



**Untuk SMA/MA Kelas X**



PUSAT PERBUKUAN  
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional  
Dilindungi Undang-undang

**Joko Sumarsono**

# FISIKA

Untuk SMA/MA Kelas X



**PUSAT PERBUKUAN**  
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional  
Dilindungi Undang-undang

## ***Fisika***

Untuk SMA/MA Kelas X

*Disusun oleh:*

**Joko Sumarsono**

Editor : Diah Nuraini  
Design Cover : Desteka  
Setting/Layout : Ike Marsanti, Esti Pertiwi

530.07  
JOK  
f

JOKO Sumarsono

Fisika : Untuk SMA/MA Kelas X / disusun Oleh Joko Sumarsono ;  
editor, Diah Nuraini. — Jakarta : Pusat Perbukuan,  
Departemen Pendidikan Nasional, 2009.  
v, 218 hlm. : illus. : 25 cm.

Bibliografi : hlm.211-212

Indeks: 217

ISBN 978-979-068-166-8 (no.jld.lengkap)

ISBN 978-979-068-169-9

1.Fisika-Studi dan Pengajaran I. Judul II. Diah Nuraini

Buku ini telah dibeli hak ciptanya oleh  
Departemen Pendidikan Nasional dari  
Penerbit CV Teguh Karya

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan  
Departemen Pendidikan Nasional  
Tahun 2008

Diperbanyak Oleh:...

## Kata Sambutan ●●●

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2008, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis/penerbit yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para siswa dan guru di seluruh Indonesia.

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*down load*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun, untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Diharapkan bahwa buku teks pelajaran ini akan lebih mudah diakses sehingga siswa dan guru di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, Februari 2009  
Kepala Pusat Perbukuan

# Kata Pengantar • • •

**P**uji syukur patut kalian panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat dan karunia-Nya kalian memperoleh kesempatan untuk melanjutkan belajar ke jenjang berikutnya.

Saat ini kalian akan diajak kembali belajar tentang Fisika. Fisika merupakan salah satu cabang IPA yang mendasari perkembangan teknologi maju dan konsep hidup harmonis dengan alam.

Perkembangan pesat di bidang teknologi informasi dan komunikasi dewasa ini, sedikit banyak dipicu oleh temuan-temuan di bidang fisika material melalui penemuan piranti mikroelektronika yang mampu memuat banyak informasi dengan ukuran yang sangat kecil. Oleh karena itu, sebagai seorang pelajar kalian perlu memiliki kemampuan berpikir, bekerja, dan bersikap ilmiah serta berkomunikasi sebagai salah satu aspek penting kecakapan hidup di era globalisasi ini.

Buku ini ditulis untuk memenuhi kebutuhan kalian akan pengetahuan, pemahaman, dan sejumlah kemampuan yang dipersyaratkan untuk memasuki jenjang pendidikan yang lebih tinggi serta mengembangkan ilmu dan teknologi. Selain itu, juga untuk membantu kalian mengembangkan kemampuan bernalar, mengembangkan pengalaman, memupuk sikap ilmiah, dan membentuk sikap positif terhadap fisika. Buku ini memuat aspek materi fisika yang menekankan pada segala bentuk fenomena alam dan pengukurannya, gerak benda dengan berbagai hukumnya, penerapan gejala gelombang dalam berbagai bidang ilmu fisika, dan lain-lain yang disusun secara sistematis, komprehensif, dan terpadu. Dengan demikian, kalian akan memperoleh pemahaman yang lebih luas dan mendalam tentang aspek-aspek tersebut.

Akhirnya, semoga buku ini bermanfaat bagi kalian dalam memperoleh pengetahuan, pemahaman, dan kemampuan menganalisis segala hal yang berkaitan dengan fenomena alam sehingga kalian mampu hidup selaras berdasarkan hukum alam, mampu mengelola sumber daya alam dan lingkungan serta mampu mengurangi dampak bencana alam di sekitar kalian.

Selamat belajar, semoga sukses.

Juli, 2007

Penulis

## Daftar Isi

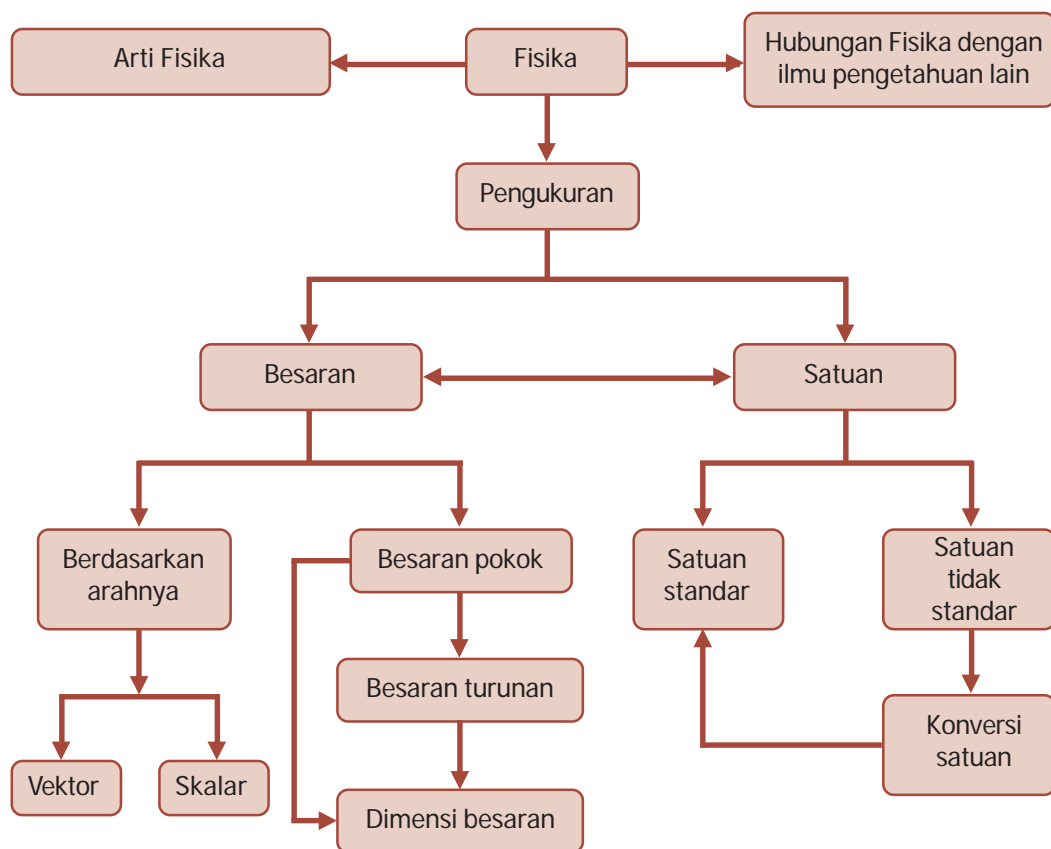
KATA SAMBUTAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
PANDUAN PENGGUNAAN BUKU .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
<b>BAB 1 BESARAN DAN SATUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Fisika dan Ruang Lingkupnya .....	2
B. Besaran Pokok dan Satuan Standar .....	4
C. Besaran Turunan .....	10
D. Dimensi Besaran .....	11
E. Alat Ukur .....	14
F. Besaran Vektor .....	19
Kilas Balik .....	25
Uji Kompetensi .....	25
<b>BAB 2 GERAK LURUS .....</b>	<b>29</b>
A. Kedudukan, Jarak, dan Perpindahan .....	30
B. Kelajuan dan Kecepatan .....	32
C. Percepatan .....	37
D. Gerak Lurus Beraturan (GLB) .....	38
E. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) .....	41
F. Gerak Jatuh Bebas .....	45
G. Gerak Vertikal ke Atas .....	48
Kilas Balik .....	52
Uji Kompetensi .....	52
<b>BAB 3 GERAK MELINGKAR BERATURAN .....</b>	<b>56</b>
A. Pengertian Gerak Melingkar Beraturan .....	58
B. Besaran-Besaran dalam Gerak Melingkar .....	58
C. Hubungan Besaran-Besaran Sudut dan Besaran Tangensial .....	60
D. Hubungan Roda-Roda pada Gerak Melingkar .....	65
Kilas Balik .....	68
Uji Kompetensi .....	69
<b>BAB 4 HUKUM NEWTON TENTANG GERAK .....</b>	<b>73</b>
A. Pengertian Gaya .....	74
B. Hukum I Newton .....	75
C. Hukum II Newton .....	77
D. Hukum III Newton .....	80
E. Berat - Gaya Gravitasi dan Gaya Normal .....	81
F. Aplikasi Hukum-Hukum Newton tentang Gerak .....	83
G. Dinamika Gerak Melingkar Beraturan .....	93
Kilas Balik .....	98



	Uji Kompetensi .....	99
<b>UJI KOMPETENSI SEMESTER 1 .....</b>		<b>102</b>
<b>BAB 5</b>	<b>ALAT-ALAT OPTIK.....</b>	<b>111</b>
	A. Mata Manusia .....	112
	B. Lup (Kaca Pembesar) .....	115
	C. Mikroskop .....	118
	D. Teleskop (Teropong Bintang) .....	121
	E. Teropong Terrestrial (Teropong Bumi) .....	124
	F. Kamera .....	125
	Kilas Balik .....	129
	Uji Kompetensi .....	130
<b>BAB 6</b>	<b>SUHU DAN KALOR.....</b>	<b>133</b>
	A. Suhu (Temperatur) .....	134
	B. Pemuaian .....	137
	C. Pengaruh Kalor terhadap Suatu Zat .....	146
	D. Kalor sebagai Transfer Energi.....	146
	E. Perpindahan Kalor .....	154
	Kilas Balik .....	159
	Uji Kompetensi .....	160
<b>BAB 7</b>	<b>LISTRIK .....</b>	<b>163</b>
	A. Arus Listrik.....	164
	B. Hambatan Listrik dan Beda Potensial .....	166
	C. Hambatan Jenis .....	167
	D. Daya dan Energi Listrik.....	169
	E. Arus Bolak-Balik (AC) .....	171
	F. Rangkaian Seri dan Paralel Resistor .....	172
	G. Ggl dan Rangkaian Ggl .....	175
	H. Daya pada Rangkaian Listrik Rumah Tangga .....	178
	I. Amperemeter dan Voltmeter DC .....	179
	Kilas Balik .....	182
	Uji Kompetensi .....	183
<b>BAB 8</b>	<b>GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK .....</b>	<b>187</b>
	A. Perubahan Medan Listrik Menimbulkan Medan Magnet .....	188
	B. Cahaya sebagai Gelombang Elektromagnetik dan Spektrum Elektromagnetik.....	190
	C. Aplikasi Gelombang Elektromagnetik .....	195
	Kilas Balik .....	198
	Uji Kompetensi .....	199
<b>UJI KOMPETENSI SEMESTER 2.....</b>		<b>201</b>
<b>GLOSARIUM .....</b>		<b>209</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>211</b>
<b>DAFTAR KONSTANTA .....</b>		<b>213</b>
<b>KUNCI JAWABAN NOMOR GENAP .....</b>		<b>216</b>
<b>INDEKS .....</b>		<b>217</b>

# PETA KONSEP

## Bab 1 Besaran dan Satuan





# BAB

# 1

## BESARAN DAN SATUAN



● Pesawat terbang

Sumber: *Encarta Encyclopedia*, 2006

Coba perhatikan gambar di atas. Untuk membuat sebuah pesawat terbang dibutuhkan banyak tenaga ahli. Terutama untuk menghitung berbagai komponen di dalamnya. Komponen-komponen dalam sebuah pesawat terbang harus secara cermat dihitung ukuran, berat, letak, bentuk, sampai sifat-sifatnya. Hal ini tentu saja bertujuan agar pesawat yang dihasilkan akan nyaman dipakai, cepat, dan aman. Nah, untuk membuat pesawat terbang sangat berkaitan erat dengan ilmu fisika. Mengapa ilmu fisika itu penting? Untuk mengetahuinya ikuti uraian berikut ini.

## Kata Kunci

alat ukur, besaran, dimensi, satuan, satuan internasional

Fisika adalah salah satu ilmu pengetahuan alam dasar yang banyak digunakan sebagai dasar bagi ilmu-ilmu yang lain. Fisika adalah ilmu yang mempelajari gejala alam secara keseluruhan. Fisika mempelajari materi, energi, dan fenomena atau kejadian alam, baik yang bersifat makroskopis (berukuran besar, seperti gerak Bumi mengelilingi Matahari) maupun yang bersifat mikroskopis (berukuran kecil, seperti gerak elektron mengelilingi inti) yang berkaitan dengan perubahan zat atau energi.

Fisika menjadi dasar berbagai pengembangan ilmu dan teknologi. Kaitan antara fisika dan disiplin ilmu lain membentuk disiplin ilmu yang baru, misalnya dengan ilmu astronomi membentuk ilmu astrofisika, dengan biologi membentuk biofisika, dengan ilmu kesehatan membentuk fisika medis, dengan ilmu bahan membentuk fisika material, dengan geologi membentuk geofisika, dan lain-lain. Pada bab ini akan dipelajari tentang dasar-dasar ilmu fisika.



## A. Fisika dan Ruang Lingkupnya



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*, PT Ichtiar Baru van Hoeve, 2005

**Gambar 1.1** Gerak planet-planet pada sistem tata surya dipelajari dalam fisika.

### 1. Arti Fisika

Fisika berasal dari bahasa Yunani yang berarti “alam”. Fisika adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari sifat dan gejala pada benda-benda di alam. Gejala-gejala ini pada mulanya adalah apa yang dialami oleh indra kita, misalnya penglihatan menemukan optika atau cahaya, pendengaran menemukan pelajaran tentang bunyi, dan indra peraba yang dapat merasakan panas.

Mengapa kalian perlu mempelajari Fisika? Fisika menjadi ilmu pengetahuan yang mendasar, karena berhubungan dengan perilaku dan struktur benda, khususnya benda mati. Menurut sejarah, fisika adalah bidang ilmu yang tertua, karena dimulai dengan pengamatan-pengamatan dari gerakan benda-benda langit, bagaimana lintasannya, periodenya, usianya, dan lain-lain. Bidang ilmu ini telah dimulai berabad-abad yang lalu, dan berkembang pada zaman Galileo dan Newton. Galileo merumuskan hukum-hukum mengenai benda yang jatuh, sedangkan Newton mempelajari gerak pada umumnya, termasuk gerak planet-planet pada sistem tata surya.

Pada zaman modern seperti sekarang ini, ilmu fisika sangat mendukung perkembangan teknologi, industri, komunikasi, termasuk rekayasa (*engineering*), kimia, biologi, kedokteran, dan lain-lain. Ilmu fisika dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan mengenai fenomena-fenomena yang menarik. Mengapa bumi dapat mengelilingi matahari? Bagaimana udara dapat menahan pesawat terbang yang berat? Mengapa langit tampak berwarna biru? Bagaimana siaran/tayangan TV dapat menjangkau tempat-tempat yang jauh? Mengapa sifat-sifat listrik sangat diperlukan dalam sistem komunikasi dan industri? Bagaimana peluru kendali dapat diarahkan ke sasaran yang letaknya sangat jauh, bahkan antarbenua? Dan akhirnya, bagaimana pesawat dapat mendarat di bulan? Ini semua dipelajari dalam berbagai bidang ilmu fisika.

Bidang fisika secara garis besar terbagi atas dua kelompok, yaitu fisika klasik dan fisika modern. Fisika klasik bersumber pada gejala-gejala yang ditangkap oleh indra. Fisika klasik meliputi mekanika, listrik magnet, panas, bunyi, optika, dan gelombang yang menjadi perbatasan antara fisika klasik dan fisika modern. Fisika modern berkembang mulai abad ke-20, sejak penemuan teori relativitas Einstein dan radioaktivitas oleh keluarga Curie.

## 2. Hubungan Ilmu Fisika dengan Ilmu Pengetahuan Lain

Tujuan mempelajari ilmu fisika adalah agar kita dapat mengetahui bagian-bagian dasar dari benda dan mengerti interaksi antara benda-benda, serta mampu menjelaskan mengenai fenomena-fenomena alam yang terjadi. Walaupun fisika terbagi atas beberapa bidang, hukum fisika berlaku universal. Tinjauan suatu fenomena dari bidang fisika tertentu akan memperoleh hasil yang sama jika ditinjau dari bidang fisika lain. Selain itu konsep-konsep dasar fisika tidak saja mendukung perkembangan fisika sendiri, tetapi juga perkembangan ilmu lain dan teknologi. Ilmu fisika menunjang riset murni maupun terapan. Ahli-ahli geologi dalam risetnya menggunakan metode-metode gravimetri, akustik, listrik, dan mekanika. Peralatan modern di rumah sakit-rumah sakit menerapkan ilmu fisika. Ahli-ahli astronomi memerlukan optik spektografi dan teknik radio. Demikian juga ahli-ahli meteorologi (ilmu cuaca), oseanologi (ilmu kelautan), dan seismologi memerlukan ilmu fisika.



Sumber: *Jawa Pos*, 27 Juli 2006

**Gambar 1.2** Bom atom merupakan penerapan teori relativitas.



Sumber: *Jendela Iptek Listrik*, PT Balai Pustaka, 2000

**Gambar 1.3** Peralatan modern di bidang kedokteran memanfaatkan ilmu fisika.



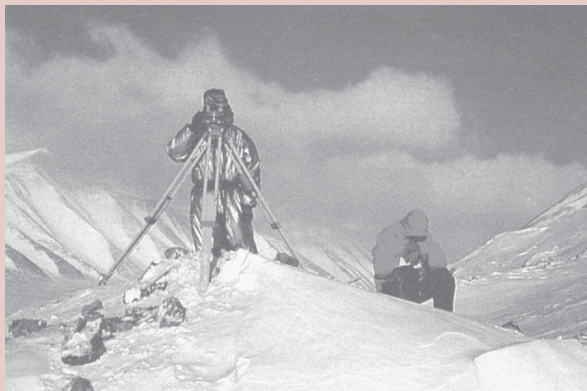
Sumber: *Ensiklopedi Sains dan Kehidupan*, CV Tarity Samudra Berlian, 2003

**Gambar 1.4** Meteran adalah alat ukur yang paling sederhana.

### 3. Pengukuran

Fisika lahir dan berkembang dari hasil percobaan dan pengamatan. Percobaan (eksperimen) dan pengamatan (observasi) memerlukan pengukuran (*measurement*) dengan bantuan alat-alat ukur, sehingga diperoleh data/ hasil pengamatan yang bersifat kuantitatif. Sebagai contoh, hasil pengukuran pada suatu percobaan diperoleh panjang terukur 4 meter, volume air  $10 \text{ cm}^3$  pada suhu  $15^\circ \text{C}$ . Dalam fisika, panjang, volume, dan suhu adalah sesuatu yang dapat diukur. Sesuatu yang dapat diukur itu disebut **besaran**. Besaran mempunyai dua komponen utama, yaitu nilai dan satuan. Dalam ilmu fisika, perlu diingat bahwa tidak semua besaran fisika mempunyai satuan, sebagai contoh indeks bias dan massa jenis relatif.

#### Percikan Fisika



##### Memotret Matahari

Salah satu kehebatan Zaman Ruang Angkasa adalah bagaimana foto dari ruang angkasa menyerupai peta yang digambar menggunakan pengukuran yang dibuat di Bumi. Para penyigi mengkhususkan diri pada pemetaan dan teodolit merupakan perkakas mereka yang paling penting. Para penyigi ini melakukan pengukuran jarak jauh di suatu pulau di Benua Arktika

untuk menentukan letak suatu sumur minyak, menggunakan teknik pemotretan matahari: suatu titik berkilo-kilometer jauhnya dapat ditentukan dengan tepat jika seseorang di tempat itu memancarkan sinar dari suatu cermin ke lensa yang terdapat pada teodolit.



## B. Besaran Pokok dan Satuan Standar

### 1. Besaran Pokok

Besaran-besaran dalam fisika dapat dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu besaran pokok dan besaran turunan. *Besaran pokok* adalah besaran yang satuannya didefinisikan atau ditetapkan terlebih dahulu, yang berdiri sendiri, dan tidak tergantung pada besaran lain. Para ahli merumuskan tujuh macam besaran pokok, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.1.

**Tabel 1.1 Besaran pokok dan satuannya**

Besaran Pokok	Simbol Besaran	Satuan	Simbol Satuan
Panjang	$l$	meter	m
Massa	$m$	kilogram	kg
Waktu	$t$	sekon	s
Kuat arus listrik	$I$	ampere	A
Suhu	$T$	kelvin	K
Jumlah zat	$n$	mol	mol
Intensitas cahaya	$I_v$	kandela	cd

## 2. Satuan Standar (Satuan Sistem Internasional: SI)

Satuan merupakan salah satu komponen besaran yang menjadi standar dari suatu besaran. Sebuah besaran tidak hanya memiliki satu satuan saja. Besaran panjang ada yang menggunakan satuan inci, kaki, mil, dan sebagainya. Untuk massa dapat menggunakan satuan ton, kilogram, gram, dan sebagainya. Adanya berbagai macam satuan untuk besaran yang sama akan menimbulkan kesulitan. Kalian harus melakukan penyesuaian-penyesuaian tertentu untuk memecahkan persoalan yang ada. Dengan adanya kesulitan tersebut, para ahli sepakat untuk menggunakan satu sistem satuan, yaitu menggunakan satuan standar Sistem Internasional, disebut *Système Internationale d'Unites* (SI).

Satuan Internasional adalah satuan yang diakui penggunaannya secara internasional serta memiliki standar yang sudah baku. Satuan ini dibuat untuk menghindari kesalahpahaman yang timbul dalam bidang ilmiah karena adanya perbedaan satuan yang digunakan. Pada awalnya, Sistem Internasional disebut sebagai *Metre – Kilogram – Second* (MKS). Selanjutnya pada *Konferensi Berat dan Pengukuran* Tahun 1948, tiga satuan yaitu newton (N), joule (J), dan watt (W) ditambahkan ke dalam SI. Akan tetapi, pada tahun 1960, tujuh Satuan Internasional dari besaran pokok telah ditetapkan yaitu meter, kilogram, sekon, ampere, kelvin, mol, dan kandela.



Untuk pengukuran massa yang sangat kecil, dengan menggunakan standar massa atom karbon-12. Menurut perjanjian internasional, massa atom karbon-12 ditetapkan sebesar 12 sma (sma = satuan massa atom; simbol  $u$ ).





Sumber: Dokumen Penerbit, 2006

**Gambar 1.5** Mengukur dengan jengkal tangan akan menghasilkan ukuran yang tidak seragam.



Sumber: Kamus Fisika Bergambar, Pakar Raya, 2004

**Gambar 1.6** Batang platina iridium yang digunakan sebagai meter standar, disimpan di Sevres, Paris.

Sistem MKS menggantikan *sistem metrik*, yaitu suatu sistem satuan desimal yang mengacu pada meter, gram yang didefinisikan sebagai massa satu sentimeter kubik air, dan detik. Sistem itu juga disebut sistem *Centimeter – Gram – Second* (CGS).

Satuan dibedakan menjadi dua jenis, yaitu satuan tidak baku dan satuan baku. Standar satuan tidak baku tidak sama di setiap tempat, misalnya jengkal dan hasta. Sementara itu, standar satuan baku telah ditetapkan sama di setiap tempat.

### a. Satuan Standar Panjang

Satuan besaran panjang berdasarkan SI dinyatakan dalam meter (m). Ketika sistem metrik diperkenalkan, satuan meter diusulkan setara dengan sepersepuluh juta kali seperempat garis bujur bumi yang melalui kota Paris. Tetapi, penyelidikan awal geodesik menunjukkan ketidakpastian standar ini, sehingga batang platina-iridium yang asli dibuat dan disimpan di Sevres dekat Paris, Prancis. Jadi, para ahli menilai bahwa meter standar itu kurang teliti karena mudah berubah.

Para ahli menetapkan lagi patokan panjang yang nilainya selalu konstan. Pada tahun 1960 ditetapkan bahwa satu meter adalah panjang yang sama dengan 1.650.763,73 kali panjang gelombang sinar jingga yang dipancarkan oleh atom-atom gas krypton-86 dalam ruang hampa pada suatu loncatan listrik. Definisi baru menyatakan bahwa satuan panjang SI adalah *panjang lintasan yang ditempuh cahaya dalam ruang hampa selama selang waktu  $\frac{1}{299.792.458}$  sekon*.

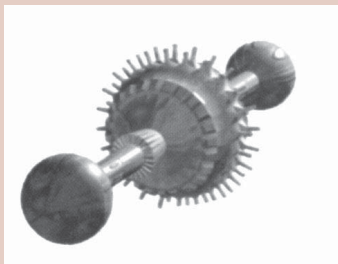
Angka yang sangat besar atau sangat kecil oleh ilmuwan digambarkan menggunakan awalan dengan suatu satuan untuk meningkatkan perkalian atau pembagian dari suatu satuan. Singkatan sistem metriksnya dapat dilihat pada Tabel 1.2.

**Tabel 1.2** Singkatan sistem metriks satuan

Konversi Besaran	Orde	Nama
1000000000000	$10^{12}$	tera (T)
1000000000	$10^9$	giga (G)

1000000	$10^6$	mega (M)
1000	$10^3$	kilo (k)
100	$10^2$	hekto (h)
10	$10^1$	deka (da)
1	-	-
0,1	$10^{-1}$	desi (d)
0,01	$10^{-2}$	senti (c)
0,001	$10^{-3}$	mili (m)
0,000001	$10^{-6}$	mikro ( $\mu$ )
0,000000001	$10^{-9}$	nano (n)
0,000000000001	$10^{-12}$	piko (p)

## Percikan Fisika



### Nanobot

Nanobot, yang ukurannya mencapai bilangan nano-meter (sepersekian juta dari satu milimeter), suatu hari nanti akan dipakai untuk melakukan operasi mata atau bagian-bagian lain tubuh manusia yang membutuhkan ketelitian sangat tinggi. Peralatan bedah nano yang sangat kecil dapat dikendalikan dan dicatu daya oleh mesin nano yang lebih besar.

### b. Satuan Standar Massa

Satuan standar untuk massa adalah kilogram (kg). Satu kilogram standar adalah massa sebuah silinder logam yang terbuat dari platina iridium yang disimpan di Sevres, Prancis. Silinder platina iridium memiliki diameter 3,9 cm dan tinggi 3,9 cm. Massa 1 kilogram standar mendekati massa 1 liter air murni pada suhu 4 °C.

### c. Satuan Standar Waktu

Satuan SI waktu adalah sekon (s). Mula-mula ditetapkan bahwa satu sekon sama dengan  $\frac{1}{86.400}$  rata-rata gerak semu matahari mengelilingi Bumi. Dalam pengamatan astronomi, waktu ini ternyata kurang tepat akibat adanya pergeseran, sehingga tidak dapat digunakan sebagai patokan.



Sumber: *Jendela Iptek Ruang dan Waktu*, PT Balai Pustaka, 2000

**Gambar 1.7** Platinum iridium sebagai standar massa yang disimpan di Sevres, Paris.





Sumber: *Jendela Iptek Ruang dan Waktu*, PT Balai Pustaka, 2000

**Gambar 1.8** Jam cesium mempunyai ketepatan yang sangat tinggi.

## BETA<sup>®</sup> Berita Fisika

Suhu merupakan besaran yang menyatakan derajat panas atau dingin suatu benda. Saat benda dipanaskan atau didinginkan akan terjadi perubahan sifat, seperti panjang logam, volume zat cair, dan volume gas.

## Komet Kolom mengingat

Satuan standar:

- 1 meter = panjang lintasan cahaya dalam vakum selama  $\frac{1}{299.792.458}$  sekon.
- 1 kg = massa 1 liter air murni pada suhu 4 °C.
- 1 sekon = waktu yang dibutuhkan atom cesium-133 untuk bergetar sebanyak 9.192.631.770 kali.
- 1 ampere = arus dalam dua batang penghantar berjarak 1 m dalam vakum menghasilkan gaya sebesar  $2 \times 10^{-7} \text{ Nm}^{-1}$ .
- 1 kelvin =  $\frac{1}{273,16}$  suhu titik tripel air.
- 1 kandela = intensitas cahaya radiasi monokromatik dengan frekuensi  $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ .
- 1 mol = jumlah atom di dalam  $1,2 \times 10^{-2} \text{ kg}$  karbon-12.

Selanjutnya, pada tahun 1956 ditetapkan bahwa satu sekon adalah waktu yang dibutuhkan atom cesium-133 untuk bergetar sebanyak 9.192.631.770 kali.

### d. Satuan Standar Arus Listrik

Satuan standar arus listrik adalah ampere (A). Satu ampere didefinisikan sebagai arus tetap, yang dipertahankan untuk tetap mengalir pada dua batang penghantar sejajar dengan panjang tak terhingga, dengan luas penampang yang dapat diabaikan dan terpisahkan sejauh satu meter dalam vakum, yang akan menghasilkan gaya antara kedua batang penghantar sebesar  $2 \times 10^{-7} \text{ Nm}^{-1}$ .

### e. Satuan Standar Suhu

Suhu menunjukkan derajat panas suatu benda. Satuan standar suhu adalah kelvin (K), yang didefinisikan sebagai satuan suhu mutlak dalam termodinamika yang besarnya sama dengan  $\frac{1}{273,16}$  dari suhu titik tripel air. Titik tripel menyatakan temperatur dan tekanan saat terdapat keseimbangan antara uap, cair, dan padat suatu bahan. Titik tripel air adalah 273,16 K dan 611,2 Pa. Jika dibandingkan dengan skala termometer Celsius, dinyatakan sebagai berikut:

$$T = 273,16^\circ + t_c$$

dengan:

$T$  = suhu mutlak, dalam kelvin (K)

$t_c$  = suhu, dalam derajat celsius (°C)

### f. Satuan Standar Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya dalam SI mempunyai satuan kandela (cd), yang besarnya sama dengan intensitas sebuah sumber cahaya yang memancarkan radiasi monokromatik dengan frekuensi  $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$  dan memiliki intensitas pancaran  $\frac{1}{683}$  watt per steradian pada arah tertentu.

### g. Satuan Standar Jumlah Zat

Satuan SI untuk jumlah zat adalah mol. Satu mol setara dengan jumlah zat yang mengandung partikel elementer sebanyak jumlah atom di dalam  $1,2 \times 10^{-2} \text{ kg}$  karbon-12. Partikel elementer merupakan unsur fundamental yang membentuk materi di alam semesta. Partikel ini dapat berupa atom, molekul, elektron, dan lain-lain.

### 3. Satuan Tidak Standar dan Konversi Satuan

Televisi di rumah berukuran 14 inci. Truk itu mengangkut 500 ton beras. Inci dan ton merupakan contoh satuan tidak standar masing-masing untuk besaran panjang dan besaran massa. Satuan tidak standar seperti ini perlu dikonversi ke satuan standar sehingga satuannya konsisten.

Konversi satuan dilakukan dengan menyisipkan faktor konversi yang cocok yang membuat satuan lain ditiadakan, kecuali satuan yang kita kehendaki. Faktor konversi merupakan perbandingan dua satuan besaran sehingga sama dengan satu. Berikut ini beberapa contoh konversi satuan untuk besaran panjang, massa, dan waktu.

#### Panjang

1 inci	= 2,54 cm
1 sentimeter (cm)	= 0,394 inci
1 meter (m)	= 3,28 ft
1 kilometer (km)	= 0,621 mil
1 yard (yd)	= 3 ft
1 angstrom (Å)	= $10^{-10}$ m
1 tahun cahaya (ly)	= $9,46 \times 10^{15}$ m
1 parsec	= $3,09 \times 10^{16}$ m
1 fermi	= $10^{-15}$ m

#### Massa

1 satuan massa atom (sma)	= $1,6605 \times 10^{-27}$ kg
1 kilogram (kg)	= $10^3$ g = 2,205 lb
1 slug	= 14,59 kg
1 ton	= 1.000 kg

#### Waktu

1 menit	= 60 s
1 jam	= 3.600 s
1 hari	= $8,64 \times 10^4$ s
1 tahun	= $3,1536 \times 10^7$ s



Sumber: Dokumen Penerbit, 2006

**Gambar 1.9** Ukuran pada TV menggunakan satuan tidak standar.

#### Contoh Soal

Pada perlombaan lari cepat jarak pendek seorang pelari menempuh jarak 100 m. Berapa jarak lari 100 m jika dinyatakan dalam yard?

*Penyelesaian:*

$$\begin{aligned}1 \text{ yd} &= 3 \text{ ft} = 36 \text{ inci} \\&= 36 \text{ inci} \times \left( \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ inci}} \right) \\&= 91,44 \text{ cm} \\ \text{atau: } 1 \text{ yd} &= 0,9144 \text{ m} \\ \text{berarti: } 1 \text{ m} &= \frac{1}{0,9144} \text{ yd} = 1,094 \text{ yard} \\ \text{sehingga:} \\ 100 \text{ m} &= (100 \text{ m}) \left( \frac{1,094 \text{ yard}}{1 \text{ m}} \right) \\ 100 \text{ m} &= 109,4 \text{ yard}\end{aligned}$$

### Uji Kemampuan 1.1

1. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 72 km/jam. Berapa kecepatan mobil tersebut jika dinyatakan dalam m/s?
2. Massa jenis suatu fluida adalah 1,0 g/cm<sup>3</sup>. Jika dinyatakan dalam kg/m<sup>3</sup>, berapakah nilai massa jenis fluida tersebut?



## C. Besaran Turunan

### Komet

#### Kolom mengingat

Besaran pokok adalah besaran yang satuannya didefinisikan atau ditetapkan terlebih dahulu, yang berdiri sendiri, dan tidak tergantung pada satuan besaran lain. Besaran turunan adalah besaran yang satuannya diturunkan dari besaran pokok.

Besaran turunan adalah besaran yang dapat diturunkan atau didefinisikan dari besaran pokok. Satuan besaran turunan disesuaikan dengan satuan besaran pokoknya. Salah satu contoh besaran turunan yang sederhana ialah luas. Luas merupakan hasil kali dua besaran panjang, yaitu panjang dan lebar. Oleh karena itu, luas merupakan turunan dari besaran panjang.

$$\begin{aligned}\text{Luas} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \\&= \text{besaran panjang} \times \text{besaran panjang} \\ \text{Satuan luas} &= \text{meter} \times \text{meter} \\&= \text{meter persegi (m}^2\text{)}\end{aligned}$$

Besaran turunan yang lain misalnya volume. Volume merupakan kombinasi tiga besaran panjang, yaitu panjang, lebar, dan tinggi. Volume juga merupakan turunan dari besaran panjang. Adapun massa jenis merupakan kombinasi besaran massa dan besaran volume. Selain itu, massa jenis merupakan turunan dari besaran pokok massa dan panjang.

**Tabel 1.3 Besaran turunan dan satuannya**

Besaran Turunan	Satuan		Dalam Satuan Dasar
	Nama Satuan	Simbol	
Luas	meter persegi	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Volume	meter kubik	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Kecepatan	meter per sekon	m/s	m/s
Massa jenis	kilogram per meter kubik	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Gaya	newton	N	kg.m/s <sup>2</sup>
Energi dan usaha	joule	J	kg.m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Daya	watt	W	kg.m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>
Tekanan	pascal	Pa	kg/(m.s <sup>2</sup> )
Frekuensi	hertz	Hz	s <sup>-1</sup>
Muatan listrik	coulomb	C	A.s
Potensial listrik	volt	V	kg.m <sup>2</sup> /(A.s <sup>3</sup> )
Hambatan listrik	ohm	Ω	kg.m <sup>2</sup> /(A <sup>2</sup> .s <sup>3</sup> )
Kapasitansi	farad	F	A <sup>2</sup> .s <sup>4</sup> /kg.m <sup>2</sup>
Medan magnetik	tesla	T	kg/(A.s <sup>2</sup> )
Fluks magnetik	weber	Wb	kg.m <sup>2</sup> /(A.s <sup>2</sup> )
Induktansi	henry	H	kg.m <sup>2</sup> /(A <sup>2</sup> .s <sup>2</sup> )



## D. Dimensi Besaran

### 1. Dimensi Besaran Pokok dan Besaran Turunan

Dimensi adalah cara penulisan suatu besaran dengan menggunakan simbol (lambang) besaran pokok. Hal ini berarti dimensi suatu besaran menunjukkan cara besaran itu tersusun dari besaran-besaran pokok. Apa pun jenis satuan besaran yang digunakan tidak mempengaruhi dimensi besaran tersebut, misalnya satuan panjang dapat dinyatakan dalam m, cm, km, atau ft, keempat satuan itu mempunyai dimensi yang sama, yaitu L.

Di dalam mekanika, besaran pokok panjang, massa, dan waktu merupakan besaran yang berdiri bebas satu sama lain, sehingga dapat berperan sebagai dimensi. Dimensi besaran panjang dinyatakan dalam L, besaran massa dalam M, dan besaran waktu dalam T. Persamaan yang dibentuk oleh besaran-besaran pokok tersebut haruslah konsisten secara dimensional, yaitu kedua dimensi pada kedua ruas harus sama. Dimensi suatu besaran yang dinyatakan dengan lambang huruf tertentu, biasanya diberi tanda [ ]. Tabel 1.4 menunjukkan lambang dimensi besaran-besaran pokok.

**Tabel 1.4 Lambang dimensi besaran pokok**

Besaran Pokok	Satuan	Lambang Dimensi
Panjang	meter (m)	[L]
Massa	kilogram (kg)	[M]
Waktu	sekon (s)	[T]
Kuat Arus listrik	ampere (A)	[I]
Suhu	kelvin (K)	[ $\theta$ ]
Jumlah zat	mol (mol)	[N]
Intensitas cahaya	kandela (cd)	[J]

Dimensi dari besaran turunan dapat disusun dari dimensi besaran-besaran pokok. Tabel 1.5 menunjukkan berbagai dimensi besaran turunan.

**Tabel 1.5 Dimensi besaran turunan**

Besaran Turunan	Analisis	Dimensi
Luas	[panjang] x [panjang]	[L] <sup>2</sup>
Volume	[panjang] x [panjang] x [panjang]	[L] <sup>3</sup>
Kecepatan	$\frac{[\text{panjang}]}{[\text{waktu}]}$	[L][T] <sup>-1</sup>
Percepatan	$\frac{[\text{kecepatan}]}{[\text{waktu}]}$	[L][T] <sup>-2</sup>
Massa jenis	$\frac{[\text{massa}]}{[\text{volume}]}$	[M][L] <sup>-3</sup>

Gaya	$[\text{massa}] \times [\text{percepatan}]$	$[M][L][T]^{-2}$
Tekanan	$\frac{[\text{gaya}]}{[\text{luas}]}$	$[M][L]^{-1}[T]^{-2}$
Usaha	$[\text{gaya}] \times [\text{panjang}]$	$[M][L]^2[T]^{-2}$
Daya	$\frac{[\text{usaha}]}{[\text{waktu}]}$	$[M][L]^2[T]^{-3}$

### Contoh Soal

Tentukan dimensi besaran-besaran turunan berikut ini.

1. Luas
2. Kecepatan
3. Volume

*Penyelesaian:*

1. Luas merupakan hasil kali panjang dan lebar, keduanya memiliki dimensi panjang  $[L]$   

$$\text{luas} = \text{panjang} \times \text{lebar}$$

$$= [\text{panjang}] \times [\text{lebar}]$$

$$= [L] \times [L] = [L]^2$$
2. Kecepatan merupakan hasil bagi jarak terhadap waktu. Dimensi jarak adalah  $[L]$ , sedangkan waktu memiliki dimensi  $[T]$ . Jadi dimensi kecepatan adalah  

$$\text{Kecepatan} = \frac{\text{jarak}}{\text{waktu}}$$

$$[\text{kecepatan}] = \frac{[L]}{[T]} = [L][T]^{-1}$$
3. Volume adalah hasil kali panjang, lebar, dan tinggi. Ketiganya memiliki dimensi panjang  $[L]$ , sehingga dimensi volume adalah:  

$$[\text{volume}] = [\text{panjang}] \times [\text{lebar}] \times [\text{tinggi}]$$

$$= [L] \times [L] \times [L] = [L]^3$$

### Uji Kemampuan 1.2

Tentukan dimensi besaran-besaran turunan berikut ini.

- a. Berat jenis
- b. Momentum
- c. Energi kinetik
- d. Energi potensial

**Komet**  
Kolom mengingat

Besaran yang memiliki dimensi sama bisa ditambahkan atau dikurangi. Sementara itu, perkalian atau pembagian dua atau lebih dimensi akan menghasilkan dimensi baru.

## 2. Analisis Dimensi

Setiap satuan turunan dalam fisika dapat diuraikan atas faktor-faktor yang didasarkan pada besaran-besaran massa, panjang, dan waktu, serta besaran pokok yang lain. Salah satu manfaat dari konsep dimensi adalah untuk menganalisis atau menjabarkan benar atau salahnya suatu persamaan. Metode penjabaran dimensi atau analisis dimensi menggunakan aturan-aturan:

- dimensi ruas kanan = dimensi ruas kiri,
- setiap suku berdimensi sama.

Sebagai contoh, untuk menganalisis kebenaran dari dimensi jarak tempuh dapat dilihat persamaan berikut ini.

Jarak tempuh = kecepatan  $\times$  waktu

$$s = v \times t$$

Dari Tabel 1.5 tentang dimensi beberapa besaran turunan dapat diperoleh:

- dimensi jarak tempuh = dimensi panjang =  $[L]$
- dimensi kecepatan =  $[L][T]^{-1}$
- dimensi waktu =  $[T]$

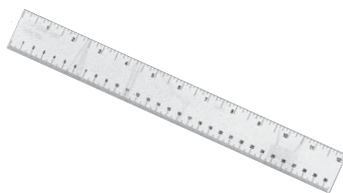
Maka dimensi jarak tempuh dari rumus  $s = v \times t$ , untuk ruas kanan:

$$\begin{aligned} [\text{jarak tempuh}] &= [\text{kecepatan}] \times [\text{waktu}] \\ [L] &= [L][T]^{-1} \times [T] \\ [L] &= [L] \end{aligned}$$

Dimensi besaran pada kedua ruas persamaan sama, maka dapat disimpulkan bahwa kemungkinan persamaan tersebut benar. Akan tetapi, bila dimensi besaran pada kedua ruas tidak sama, maka dapat dipastikan persamaan tersebut salah.



### E. Alat Ukur



Sumber: *Kamus Visual*, PT Bhuana Ilmu Populer, 2004

**Gambar 1.10** Mistar/penggaris untuk mengukur besaran panjang.

## 1. Alat Ukur Besaran Panjang

Alat-alat ukur panjang yang dipakai untuk mengukur panjang suatu benda antara lain mistar, *rollmeter*, jangka sorong, dan mikrometer sekrup.

### a. Mistar (penggaris)

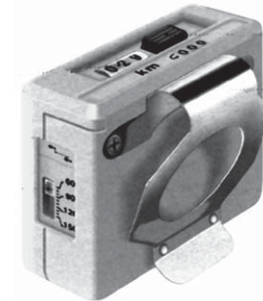
Mistar/penggaris berskala terkecil 1 mm mempunyai ketelitian 0,5 mm. Ketelitian pengukuran menggunakan mistar/penggaris adalah setengah nilai skala terkecilnya.



Dalam setiap pengukuran dengan menggunakan mistar, usahakan kedudukan pengamat (mata) tegak lurus dengan skala yang akan diukur. Hal ini untuk menghindari kesalahan penglihatan (*paralaks*). Paralaks yaitu kesalahan yang terjadi saat membaca skala suatu alat ukur karena kedudukan mata pengamat tidak tepat.

### b. *Rollmeter* (Meter Kelos)

*Rollmeter* merupakan alat ukur panjang yang dapat digulung, dengan panjang 25 - 50 meter. Meteran ini dipakai oleh tukang bangunan atau pengukur lebar jalan. Ketelitian pengukuran dengan *rollmeter* sampai 0,5 mm. Meteran ini biasanya dibuat dari plastik atau pelat besi tipis, tampak seperti pada Gambar 1.11.

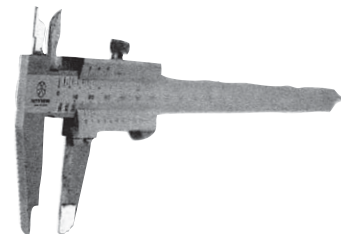


Sumber: *Kamus Visual*, PT Bhuana Ilmu Populer, 2004

**Gambar 1.11** *Rollmeter* memiliki ketelitian 0,5 mm.

### c. Jangka Sorong

Jangka sorong adalah alat yang digunakan untuk mengukur panjang, tebal, kedalaman lubang, dan diameter luar maupun diameter dalam suatu benda dengan batas ketelitian 0,1 mm. Jangka sorong mempunyai dua rahang, yaitu rahang tetap dan rahang sorong. Pada rahang tetap dilengkapi dengan skala utama, sedangkan pada rahang sorong terdapat skala nonius atau skala vernier. Skala nonius mempunyai panjang 9 mm yang terbagi menjadi 10 skala dengan tingkat ketelitian 0,1 mm.



Sumber: *Jendela Iptek Ruang dan Waktu*, PT Balai Pustaka, 2000

**Gambar 1.12** Jangka sorong dengan dua rahang, yaitu rahang tetap dan rahang sorong.

**Contoh Soal**

Pengukuran menggunakan jangka sorong diperoleh hasil sebagai berikut:

Hitunglah hasil pengukurannya berdasarkan gambar di atas!

*Penyelesaian:*

Pada skala utama menunjukkan	= 58 mm
Pada skala nonius menunjukkan	= $5 \times 0,1 = 0,5 \text{ mm}$
Hasil pengukuran	= $(58 + 0,5) \text{ mm} = 58,5 \text{ mm} = 5,85 \text{ cm}$



Sumber: *Jendela Iptek Ruang dan Waktu*, PT Balai Pustaka, 2000

**Gambar 1.13** Mikrometer memiliki skala tetap dan skala nonius.

#### d. Mikrometer Sekrup

Mikrometer sekrup merupakan alat ukur ketebalan benda yang relatif tipis, misalnya kertas, seng, dan karbon. Pada mikrometer sekrup terdapat dua macam skala, yaitu skala tetap dan skala putar (nonius).

##### 1) Skala tetap (skala utama)

Skala tetap terbagi dalam satuan milimeter (mm). Skala ini terdapat pada laras dan terbagi menjadi dua skala, yaitu skala atas dan skala bawah.

##### 2) Skala putar (skala nonius)

Skala putar terdapat pada besi penutup laras yang dapat berputar dan dapat bergeser ke depan atau ke belakang. Skala ini terbagi menjadi 50 skala atau bagian ruas yang sama. Satu putaran pada skala ini menyebabkan skala utama bergeser 0,5 mm. Jadi, satu skala pada skala putar mempunyai ukuran:

$\frac{1}{50} \times 0,5 \text{ mm} = 0,01 \text{ mm}$ . Ukuran ini merupakan batas ketelitian mikrometer sekrup.

#### Contoh Soal

Hasil pengukuran dengan mikrometer sekrup pada skala utama menunjukkan angka 4,5 mm dan skala putar menunjuk angka 25. Berapakah hasil pengukurannya?

*Penyelesaian:*

Bagian skala utama menunjukkan = 4,5 mm

Bagian skala nonius menunjukkan =  $25 \times 0,01$

= 0,25 mm

Hasil pengukuran = 4,75 mm atau 0,475 cm

#### Uji Kemampuan 1.3

1. Pengukuran menggunakan jangka sorong pada skala utama menunjuk angka 33 mm dan pada skala nonius menunjuk angka 8. Berapakah hasil pengukurannya?
2. Hitunglah hasil pengukuran menggunakan mikrometer sekrup jika skala utama menunjuk angka 7,5 mm dan skala nonius menunjuk angka 18!

## 2. Alat Ukur Besaran Massa

Besaran massa diukur menggunakan neraca. Neraca dibedakan menjadi beberapa jenis, seperti neraca analitis dua lengan, neraca Ohaus, neraca lengan gantung, dan neraca digital.

### a. Neraca Analitis Dua Lengan

Neraca ini berguna untuk mengukur massa benda, misalnya emas, batu, kristal benda, dan lain-lain. Batas ketelitian neraca analitis dua lengan yaitu 0,1 gram.

### b. Neraca Ohaus

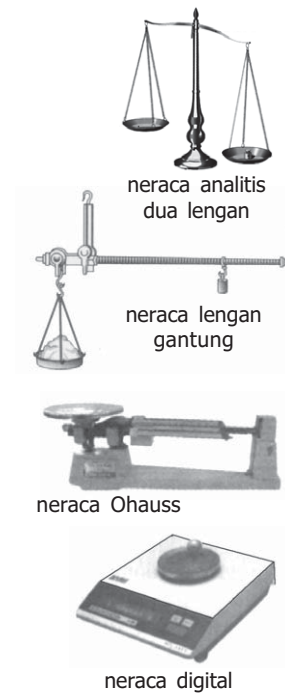
Neraca ini berguna untuk mengukur massa benda atau logam dalam praktek laboratorium. Kapasitas beban yang ditimbang dengan menggunakan neraca ini adalah 311 gram. Batas ketelitian neraca Ohaus yaitu 0,1 gram.

### c. Neraca Lengan Gantung

Neraca ini berguna untuk menentukan massa benda, yang cara kerjanya dengan menggeser beban pemberat di sepanjang batang.

### d. Neraca Digital

Neraca digital (neraca elektronik) di dalam penggunaannya sangat praktis, karena besar massa benda yang diukur langsung ditunjuk dan terbaca pada layarnya. Ketelitian neraca digital ini sampai dengan 0,001 gram.



Sumber: *Kamus Visual*, PT Bhuana Ilmu Populer, 2004

**Gambar 1.14** Jenis-jenis neraca untuk mengukur besaran massa.

## 3. Alat Ukur Waktu

Waktu merupakan besaran yang menunjukkan lamanya suatu peristiwa berlangsung.

Berikut ini beberapa alat untuk mengukur besaran waktu.

- Stopwatch, dengan ketelitian 0,1 detik karena setiap skala pada stopwatch dibagi menjadi 10 bagian. Alat ini biasanya digunakan untuk pengukuran waktu dalam kegiatan olahraga atau dalam praktik penelitian.
- Arloji, umumnya dengan ketelitian 1 detik.
- Penunjuk waktu elektronik, mencapai ketelitian 1/1000 detik.
- Jam atom Cesium, dibuat dengan ketelitian 1 detik tiap 3.000 tahun, artinya kesalahan pengukuran jam ini kira-kira satu detik dalam kurun waktu 3.000 tahun.



Sumber: *Kamus Visual*, PT Bhuana Ilmu Populer, 2004

**Gambar 1.15** Alat ukur besaran waktu.



Sumber: *Jendela Iptek Listrik*,  
PT Balai Pustaka, 2000

**Gambar 1.16** Amperemeter  
untuk mengukur kuat arus.

#### 4. Alat Ukur Kuat Arus Listrik

Alat untuk mengukur kuat arus listrik disebut **amperemeter**. Amperemeter mempunyai hambatan dalam yang sangat kecil, pemakaiannya harus dihubungkan secara seri pada rangkaian yang diukur, sehingga jarum menunjuk angka yang merupakan besarnya arus listrik yang mengalir.

#### 5. Alat Ukur Suhu

Untuk mengukur suhu suatu sistem umumnya menggunakan termometer. Termometer dibuat berdasarkan prinsip pemuaian. Termometer biasanya terbuat dari sebuah tabung pipa kapiler tertutup yang berisi air raksa yang diberi skala. Ketika suhu bertambah, air raksa dan tabung memuai. Pemuaian yang terjadi pada air raksa lebih besar dibandingkan pemuaian pada tabung kapiler. Naiknya ketinggian permukaan raksa dalam tabung kapiler dibaca sebagai kenaikan suhu.

Berdasarkan skala temperaturnya, termometer dibagi dalam empat macam, yaitu termometer skala Fahrenheit, skala Celsius, skala Kelvin, dan skala Reamur. Termometer skala Fahrenheit memiliki titik beku pada suhu  $32^{\circ}\text{F}$  dan titik didih pada  $212^{\circ}\text{F}$ . Termometer skala Celsius memiliki titik beku pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$ , dan titik didih pada  $100^{\circ}\text{C}$ . Termometer skala Kelvin memiliki titik beku pada suhu  $273\text{ K}$  dan titik didih pada  $373\text{ K}$ . Suhu  $0\text{ K}$  disebut **suhu nol mutlak**, yaitu suhu semua molekul berhenti bergerak. Dan termometer skala Reamur memiliki titik beku pada suhu  $0^{\circ}\text{R}$  dan titik didih pada  $80^{\circ}\text{R}$ .



Sumber: *Kamus Visual*, PT Bhuana Ilmu  
Populer, 2004

**Gambar 1.17** Termometer  
untuk mengukur besaran suhu.

#### Kegiatan

Tujuan : Melakukan pengukuran panjang, massa, dan volume dengan beberapa alat ukur.  
Alat dan bahan : Satu jangka sorong, satu mikrometer, satu penggaris, satu neraca/timbangan, beberapa benda ukur, seperti seutas kawat, sebutir kelereng.

#### Cara Kerja:

1. Mengukur dimensi kawat
  - a. Ukurlah panjang, diameter, dan massa kawat yang telah disiapkan.
  - b. Pilihlah alat ukur panjang yang sesuai.
  - c. Lakukan pengukuran beberapa kali untuk memperoleh variasi data.
  - d. Lakukan langkah di atas untuk kawat yang berbeda.

2. Mengukur kerapatan (massa jenis) benda
  - a. Ukurlah panjang, diameter, dan massa kelereng.
  - b. Lakukan pengukuran beberapa kali untuk memperoleh variasi data.
  - c. Ukurlah volume kelereng dengan cara mencelupkan benda ke dalam gelas ukur yang telah diisi air dan baca perubahan volume dalam gelas ukur.
  - d. Lakukan beberapa kali untuk memperoleh variasi data.

**Diskusi:**

1. Berapa skala terkecil dari alat ukur jangka sorong dan mikrometer?
2. Dalam menimbang, besaran apa yang secara langsung diukur, dan besaran apa yang sebenarnya ingin diukur?
  - a. Besaran apa yang memengaruhi pengukuran dalam menimbang?
  - b. Apa perbedaan antara massa dan berat? Besaran mana yang selalu konstan dan tidak bergantung pada tempat?
3. Jelaskan cara pengukuran volume benda dengan gelas ukur!
4. Buatlah data pengamatan!
5. Hitunglah volume benda-benda pada percobaan 1 dan 2!
6. Hitunglah rapat jenis kelereng dengan metode pengukuran dimensi (panjang dan diameter) dan metode gelas ukur!
7. Bandingkan dari kedua metode tersebut, manakah yang lebih baik?
8. Buatlah analisis dan beri kesimpulan dari percobaan ini!



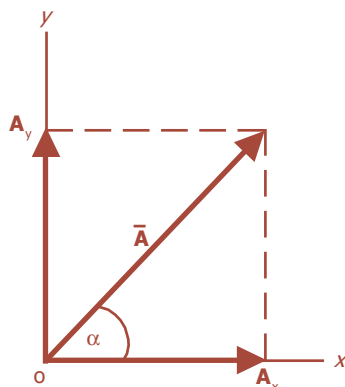
## F. Besaran Vektor

**Vektor** adalah jenis besaran yang mempunyai nilai dan arah. Besaran yang termasuk besaran vektor antara lain perpindahan, gaya, kecepatan, percepatan, dan lain-lain. Sebuah vektor digambarkan sebagai sebuah ruas garis berarah yang mempunyai **titik tangkap** (titik pangkal) sebagai tempat permulaan vektor itu bekerja. Panjang garis menunjukkan **nilai vektor** dan arah panah menunjukkan arah vektor itu bekerja. Garis yang melalui vektor tersebut dinamakan **garis kerja**.

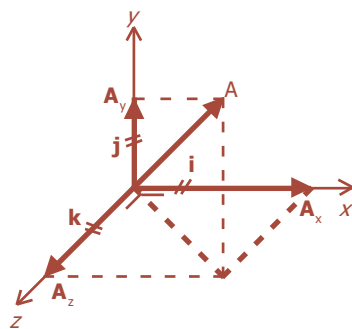
Penulisan sebuah simbol besaran vektor dengan menggunakan huruf tegak dicetak tebal, misalnya vektor  $AB$  ditulis  **$AB$** . Selain itu, dapat pula dinyatakan dengan huruf miring dengan tanda panah di atasnya, misalnya vektor  $AB$  ditulis  $\vec{AB}$ .



Vektor negatif (vektor invers)  $-\mathbf{a}$  mempunyai ukuran yang sama dengan vektor  $\mathbf{a}$  tetapi arahnya berlawanan.



**Gambar 1.18** Vektor pada bidang datar  $xoy$ ,  $\alpha$  arah vektor terhadap sumbu  $x$ .



**Gambar 1.19** Vektor satuan dengan besar vektor sama dengan satu.

Besar (nilai) sebuah vektor dinyatakan dengan huruf miring  $AB$ . Selain itu dapat pula dituliskan dalam garis mutlak, yaitu dua garis tegak sejajar, pada kedua sisi notasi vektor, misalnya, besarnya vektor  $\mathbf{AB} = AB = |\mathbf{AB}|$ .

## 1. Menggambarkan Vektor dalam Bidang Datar (dalam Dua Sumbu)

Pada bidang datar, vektor mempunyai dua komponen yaitu pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ , tampak seperti pada Gambar 1.18. Sebuah vektor dapat saja mempunyai satu komponen bila vektor tersebut berada pada salah satu sumbu  $x$  atau  $y$ . Komponen vektor adalah vektor-vektor yang bekerja pada saat yang bersamaan sehingga menghasilkan satu vektor dengan arah tertentu (resultan). Oleh karena vektor tergantung pada besar dan arah, maka vektor tersebut dapat dipindahkan titik tangkapnya asal besar dan arahnya tetap.

Penulisan matematis  $\mathbf{A}$  dapat ditulis dalam komponen-komponennya:  $\mathbf{A} = \mathbf{A}_x + \mathbf{A}_y$ ;  $\mathbf{A}$  merupakan jumlah dari komponen-komponennya.

Cara lain untuk menuliskan vektor, yaitu:

$$\mathbf{A} = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j}$$

Di mana:  $A_x$  dan  $A_y$  menunjukkan besar (harga) vektor pada masing-masing komponen sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ , sedangkan  $\mathbf{i}$  dan  $\mathbf{j}$  adalah vektor satuan pada masing-masing komponen sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ .

**Vektor satuan** adalah vektor yang besar/harganya satu satuan; vektor ruang yang telah diuraikan ke sumbu  $x(\mathbf{i})$ , sumbu  $y(\mathbf{j})$ , dan sumbu  $z(\mathbf{k})$ . Dikatakan vektor satuan karena besar vektor  $= |\mathbf{i}| = |\mathbf{j}| = |\mathbf{k}| = 1$ . Misalnya, vektor  $\mathbf{A}$  mempunyai komponen sumbu  $x(A_x)$ , pada sumbu  $y(A_y)$ , dan sumbu  $z(A_z)$ , maka vektor  $\mathbf{A}$  dapat ditulis dalam lambang vektor:

$$\mathbf{A} = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}$$

Panjang vektor  $\mathbf{A}$  adalah:

$$|\mathbf{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$

## 2. Penjumlahan Vektor

Penjumlahan dua buah vektor ialah mencari sebuah vektor yang komponen-komponennya adalah jumlah dari kedua komponen-komponen vektor pembentuknya.

Dengan kata lain untuk “menjumlahkan dua buah vektor” adalah “mencari resultan”.

Untuk vektor-vektor segaris, misalnya vektor **A** dan **B** dalam posisi segaris dengan arah yang sama seperti tampak pada Gambar 1.20(a), maka resultan (jumlah) vektor dituliskan:

$$\mathbf{R} = \mathbf{A} + \mathbf{B}$$

Pada kasus penjumlahan vektor yang lain, seperti yang ditunjukkan Gambar 1.20(b) terdapat dua vektor yang tidak segaris yang mempunyai titik pangkal sama tetapi dengan arah yang berbeda, sehingga membentuk sudut tertentu. Untuk vektor-vektor yang membentuk sudut  $\alpha$ , maka jumlah vektor dapat dilukiskan dengan menggunakan metode tertentu. Cara ini disebut dengan **metode jajaran genjang**.

Cara melukiskan jumlah dua buah vektor dengan metode jajaran genjang sebagai berikut:

- titik tangkap **A** dan **B** dibuat berimpit dengan memindahkan titik tangkap **A** ke titik tangkap **B**, atau sebaliknya;
- buat jajaran genjang dengan **A** dan **B** sebagai sisi-sisinya;
- tarik diagonal dari titik tangkap sekutu, maka  $\mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{R}$  adalah diagonal jajaran genjang.

Gambar 1.21 menunjukkan penjumlahan dua vektor **A** dan **B**. Dengan menggunakan persamaan tertentu, dapat diketahui besar dan arah resultan kedua vektor tersebut.

Persamaan tersebut diperoleh dengan menerapkan aturan cosinus pada segitiga *OPR*, sehingga dihasilkan:

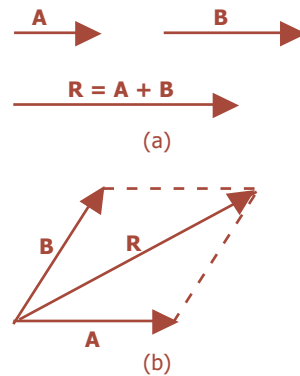
$$\begin{aligned} (OR)^2 &= (OP)^2 + (PR)^2 - 2(OP)(PR) \cos(180^\circ - \alpha) \\ &= (OP)^2 + (PR)^2 - 2(OP)(PR)(-\cos \alpha) \\ (OR)^2 &= (OP)^2 + (PR)^2 + 2(OP)(PR) \cos \alpha \end{aligned}$$

Diketahui bahwa  $OP = A$ ,  $PR = OQ = B$ ,  $OR = R$ , sehingga:

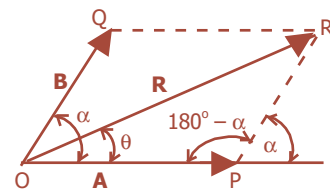
$$R^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cos \alpha \quad \text{atau} \quad R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \alpha}$$

**R** adalah diagonal panjang jajaran genjang, jika  $\alpha$  lancip. Sementara itu,  $\alpha$  adalah sudut terkecil yang dibentuk oleh **A** dan **B**.

Sebuah vektor mempunyai besar dan arah. Jadi setelah mengetahui besarnya, kita perlu menentukan arah dan resultan vektor tersebut. Arah **R** dapat ditentukan oleh sudut antara **R** dan **A** atau **R** dan **B**.



**Gambar 1.20** (a) Lukisan jumlah vektor segaris, (b) lukisan jumlah vektor tidak segaris yang membentuk sudut.



**Gambar 1.21** Metode jajaran genjang untuk jumlah vektor  $\vec{A} + \vec{B}$ .



Misalnya sudut  $\theta$  merupakan sudut yang dibentuk  $R$  dan  $A$ , maka dengan menggunakan aturan sinus pada segitiga  $OPR$  akan diperoleh:

$$\begin{aligned}\frac{R}{\sin (180-\alpha)} &= \frac{B}{\sin \theta} \\ &= \frac{R}{\sin \alpha} \\ \frac{R}{\sin \alpha} &= \frac{B}{\sin \theta} \\ \text{sehingga:} \\ \sin \theta &= \frac{B \sin \alpha}{R}\end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan tersebut, maka besar sudut  $\theta$  dapat diketahui.

### Contoh Soal

Dua buah vektor sebidang berturut-turut besarnya 4 satuan dan 6 satuan, bertitik tangkap sama dan mengapit sudut  $60^\circ$ . Tentukan besar dan arah resultan vektor tersebut!

*Penyelesaian:*

Misalkan vektor pertama  $V_1$  dan vektor kedua  $V_2$ .

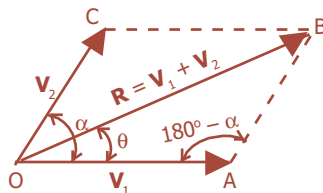
$$V_1 = 4 \text{ satuan}$$

$$V_2 = 6 \text{ satuan}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$\cos \alpha = \cos 60^\circ$$

$$= \frac{1}{2}$$



Besar resultan:

$$\begin{aligned}R &= \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + 2V_1V_2 \cos \alpha} \\ &= \sqrt{4^2 + 6^2 + 2(4)(6)\left(\frac{1}{2}\right)} \\ &= \sqrt{16 + 36 + 24} \\ &= \sqrt{76} \\ &= \sqrt{4 \times 19} \\ &= 2\sqrt{19} \text{ satuan}\end{aligned}$$

Arah resultan ( $\theta$ ) dihitung dengan rumus sinus pada segitiga  $OAB$ .

$$\begin{aligned}\frac{R}{\sin (180-\alpha)} &= \frac{V_2}{\sin \theta} \\ \frac{R}{\sin \alpha} &= \frac{V_2}{\sin \theta} \\ \sin \theta &= \frac{V_2 \sin \alpha}{R} \\ \sin \theta &= \frac{6 \sin 60^\circ}{2\sqrt{19}} \\ \sin \theta &= 0,596 \\ \theta &= 36,6^\circ\end{aligned}$$

Metode segitiga merupakan cara lain untuk menjumlahkan dua vektor, selain metode jajaran genjang. Dua buah vektor **A** dan **B**, yang pergerakannya ditunjukkan Gambar 1.22(a), akan mempunyai resultan yang persamaannya dituliskan:

$$\mathbf{R} = \mathbf{A} + \mathbf{B}$$

Resultan dua vektor akan diperoleh dengan menempatkan pangkal vektor yang kedua pada ujung vektor pertama. Resultan vektor tersebut diperoleh dengan menghubungkan titik pangkal vektor pertama dengan ujung vektor kedua.

Pada Gambar 1.22(b), pergerakan dimulai dengan vektor **B** dilanjutkan dengan **A**, sehingga diperoleh persamaan:

$$\mathbf{R} = \mathbf{B} + \mathbf{A}$$

Jadi,

$$\mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{B} + \mathbf{A}$$

Hasil yang diperoleh ternyata tidak berubah. Jadi, dapat disimpulkan bahwa penjumlahan vektor bersifat komutatif.

Tahapan-tahapan penjumlahan vektor dengan metode segitiga adalah sebagai berikut:

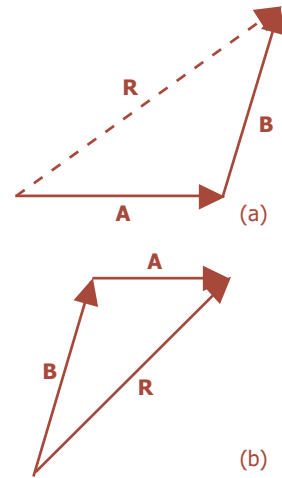
- pindahkan titik tangkap salah satu vektor ke ujung berikutnya,
- hubungkan titik tangkap vektor pertama ke ujung vektor kedua yang menunjukkan resultan kedua vektor tersebut,
- besar dan arah  $\vec{R}$  dicari dengan aturan cosinus dan sinus.

Jika penjumlahan lebih dari dua buah vektor, maka dijumlahkan dulu dua buah vektor, resultannya dijumlahkan dengan vektor ke-3 dan seterusnya. Misalnya, penjumlahan tiga buah vektor **A**, **B**, dan **C** yang ditunjukkan pada Gambar 1.23. Pertama-tama kita jumlahkan vektor **A** dan **B** yang akan menghasilkan vektor **V**. Selanjutnya, vektor **V** tersebut dijumlahkan dengan vektor **C** sehingga dihasilkan resultan **R**, yang dituliskan:

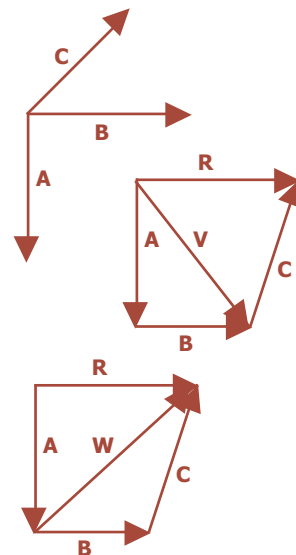
$$\mathbf{R} = (\mathbf{A} + \mathbf{B}) + \mathbf{C} = \mathbf{V} + \mathbf{C}$$

Cara lain yaitu dengan menjumlahkan vektor **B** dan **C** untuk menghasilkan **W**, yang kemudian dijumlahkan dengan vektor **A**, sehingga diperoleh resultan **R**, yaitu:

$$\mathbf{R} = \mathbf{A} + (\mathbf{B} + \mathbf{C}) = \mathbf{A} + \mathbf{W}$$

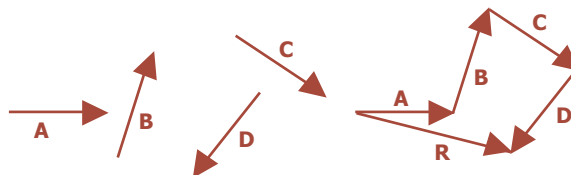


**Gambar 1.22** Metode segitiga untuk penjumlahan vektor.

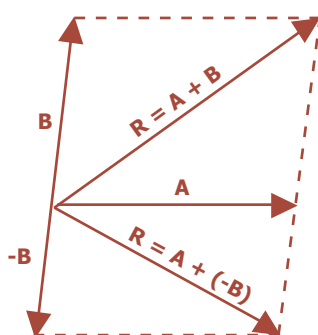


**Gambar 1.23** Cara penjumlahan lebih dari dua vektor.

Jika banyak vektor, maka penjumlahan vektor dilakukan dengan menggunakan **metode poligon** (segi banyak).



**Gambar 1.24** Metode poligon untuk penjumlahan vektor.



**Gambar 1.25** Selisih vektor  $A - B$ .

### 3. Pengurangan Vektor

Pengurangan vektor pada prinsipnya sama dengan penjumlahan, tetapi dalam hal ini salah satu vektor mempunyai arah yang berlawanan. Misalnya, vektor  $A$  dan  $B$ , jika dikurangkan maka:

$$A - B = A + (-B)$$

Di mana,  $-B$  adalah vektor yang sama dengan  $B$ , tetapi berlawanan arah.

### 4. Penguraian Vektor secara Analisis

Untuk keperluan penghitungan tertentu, kadang-kadang sebuah vektor yang terletak dalam bidang koordinat sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  harus diuraikan menjadi komponen-komponen yang saling tegak lurus (sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ ). Komponen ini merupakan nilai efektif dalam suatu arah yang diberikan. Cara menguraikan vektor seperti ini disebut **analisis**. Misalnya, vektor  $A$  membentuk sudut  $\alpha$  terhadap sumbu  $x$  positif, maka komponen vektornya adalah:

$$A_x = A \cos \alpha$$

$$A_y = A \sin \alpha$$

Besar (nilai) vektor  $A$  dapat diketahui dari persamaan:

$$|A| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

Sementara itu, arah vektor ditentukan dengan persamaan:

$$\tan \alpha = \frac{A_y}{A_x}$$



Psikologi juga menggunakan analisis yang menyerupai analisis vektor dalam menafsirkan hasil berbagai perangkat individu.

## Fiesta

Fisikawan Kita



### Andre Marie Ampere

Ahli fisika berkebangsaan Prancis, lahir di Lyon tanggal 20 Januari 1775 dan meninggal tahun 1836. Ia menemukan dan memberi nama ilmu pengetahuan elektrodinamika yang saat ini dikenal sebagai elektromagnetik. Ampere membuat alat yang disebut galvanometer yang berfungsi untuk mengukur arus listrik kecil atau mengukur fungsi dari arus listrik yang dihasilkan dari simpangan kumparan yang bergerak.

## Kilas Balik

- \* Besaran adalah segala sesuatu yang dapat diukur yang memiliki satuan.
- \* Besaran ada dua macam yaitu besaran pokok dan besaran turunan.
- \* Besaran pokok adalah besaran yang satuannya telah ditetapkan terlebih dahulu. Adapun besaran turunan adalah besaran yang satuannya diturunkan dari besaran pokok.
- \* Satuan Internasional adalah satuan yang diakui penggunaannya secara internasional serta memiliki standar yang sudah baku.
- \* Satuan internasional dari tujuh besaran pokok adalah meter, kilogram, sekon, ampere, kelvin, mol, dan kandela.
- \* Agar dihasilkan ukuran yang sama dari masing-masing satuan maka dibuat satuan standar dari masing-masing besaran.
- \* Vektor adalah jenis besaran yang mempunyai nilai dan arah.

## Uji Kompetensi

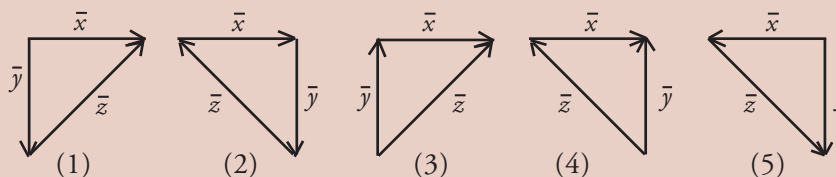
### A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Besar massa jenis raksa ialah  $13,6 \text{ gram/cm}^3$ . Dalam satuan Sistem Internasional (SI) besarnya adalah ... .
  - a.  $1,36 \text{ kg/m}^3$
  - b.  $13,6 \text{ kg/m}^3$
  - c.  $136 \text{ kg/m}^3$
  - d.  $1.360 \text{ kg/m}^3$
  - e.  $13.600 \text{ kg/m}^3$

2. Satuan tekanan jika dinyatakan dalam sistem Satuan Internasional (SI) adalah ...
  - a. pascal (Pa)
  - b.  $\text{kg.m.s}$
  - c.  $\text{kg.m.s}^{-1}$
  - d.  $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$
  - e.  $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-2}$
3. Hubungan antara volume ( $V$ ), tekanan ( $P$ ), suhu ( $T$ ), serta jumlah molekul atau partikel gas ( $n$ ) ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:
 
$$\frac{PV}{T} = nR$$
 Di mana  $R$  adalah tetapan gas umum. Rumus dimensi dari tetapan gas umum ( $R$ ) tersebut adalah ... .
  - a.  $[\text{MLTN}^{-1} \theta^{-1}]$
  - b.  $[\text{ML}^2\text{TN}^{-1} \theta^{-1}]$
  - c.  $[\text{ML}^2\text{T}^{-2}\text{N}^{-1} \theta^{-1}]$
  - d.  $[\text{ML}^2\text{T}^2\text{N}^{-1} \theta^{-1}]$
  - e.  $[\text{MLT}^{-2}\text{N} \theta^{-1}]$
4. Berikut ini termasuk dalam kelompok besaran turunan, *kecuali* ... .
  - a. kecepatan, percepatan, waktu
  - b. panjang, berat, waktu
  - c. tahanan, jumlah zat, waktu
  - d. panjang, kuat arus, intensitas cahaya
  - e. panjang, massa, gaya
5. Massa suatu benda 125 gram dan volumenya 0,625 liter, maka massa jenisnya jika dinyatakan dalam SI adalah ... .
  - a.  $2,5 \text{ kg.m}^{-3}$
  - b.  $6,25 \text{ kg.m}^{-3}$
  - c.  $12,45 \text{ kg.m}^{-3}$
  - d.  $12,55 \text{ kg.m}^{-3}$
  - e.  $2.500 \text{ kg.m}^{-3}$
6. Dua buah vektor gaya  $\vec{F}_1$  dan  $\vec{F}_2$  masing-masing sebesar 3 N dan 5 N mengapit sudut  $60^\circ$  dan bertitik tangkap sama. Jumlah kedua vektor gaya tersebut adalah ... .
  - a. 7 N
  - b. 8 N
  - c. 9 N
  - d. 10 N
  - e. 12 N
7. Dua vektor gaya  $\vec{F}_1$  dan  $\vec{F}_2$  masing-masing sebesar 3 N dan 8 N bertitik tangkap sama, ternyata membentuk resultan gaya yang besarnya 7 N. Sudut apit antara kedua vektor gaya tersebut adalah ... .
  - a.  $30^\circ$
  - b.  $45^\circ$
  - c.  $60^\circ$
  - d.  $90^\circ$
  - e.  $120^\circ$
8. Jika sebuah vektor kecepatan  $v = 10 \text{ m/s}$  diuraikan menjadi dua buah vektor yang saling tegak lurus dan salah satu vektor uraiannya membentuk sudut  $60^\circ$  dengan vektor tersebut, maka besar masing-masing vektor uraiannya adalah ...
  - a.  $5 \text{ m/s}$  dan  $5\sqrt{3} \text{ m/s}$
  - b.  $5 \text{ m/s}$  dan  $5\sqrt{2} \text{ m/s}$
  - c.  $10 \text{ m/s}$  dan  $10\sqrt{3} \text{ m/s}$
  - d.  $5 \text{ m/s}$  dan  $5\sqrt{6} \text{ m/s}$
  - e.  $10 \text{ m/s}$  dan  $1 \text{ m/s}$

9. Dua buah vektor gaya  $\vec{F}_1 = 20 \text{ N}$  dan  $\vec{F}_2 = 80 \text{ N}$  bertitik tangkap sama dan saling membentuk sudut  $\alpha$  yang berubah-ubah, maka resultan dari kedua gaya tersebut *tidak mungkin* bernilai ... .
- 60 N
  - 70 N
  - 90 N
  - 100 N
  - 120 N

10. Perhatikan diagram vektor berikut ini!



Yang menyatakan adanya hubungan  $\vec{x} = \vec{y} - \vec{z}$  adalah gambar ... .

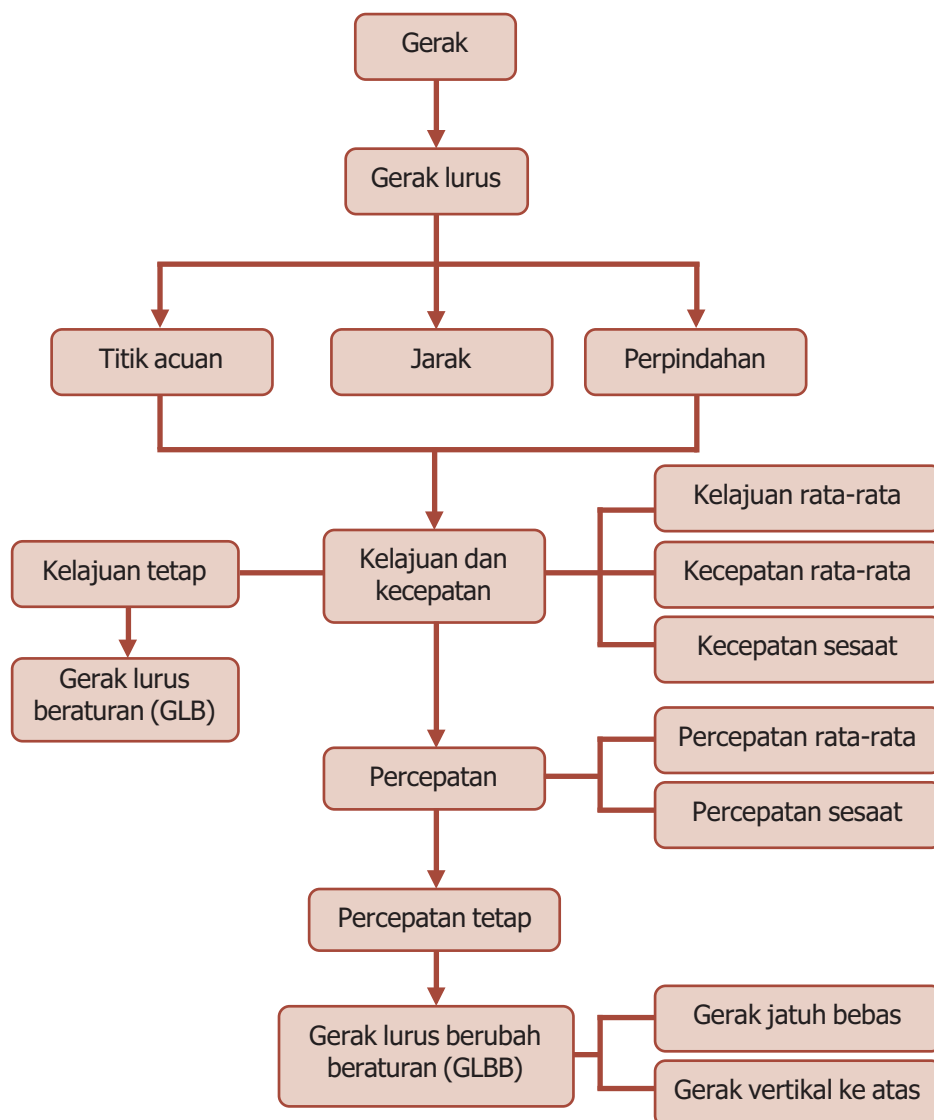
- (1)
- (2)
- (3)
- (4)
- (5)

**B. Jawablah dengan singkat dan benar!**

- Volume zat cair dalam percobaan kimia biasanya diukur dengan gelas ukur yang satuannya dalam cc ( $1 \text{ cc} = 1 \text{ mL}$ ,  $1 \text{ mL} = 1 \text{ dm}^3$ ). Berapa  $\text{m}^3$  terdapat dalam zat cair dengan volume 2.000 cc?
- Massa dua benda yang tarik-menarik berturut-turut adalah  $m_1$  dan  $m_2$  dengan jarak  $r$ . Jika gaya yang terjadi sebesar  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ , tentukan satuan  $G$ !
- Energi kinetik dari sebuah bola dinyatakan sebagai  $Ek = \frac{1}{2}mv^2$  atau  $Ek = \frac{p^2}{2m}$ , di mana  $m$  adalah massa bola dan  $v$  adalah laju. Hubungan ini dapat digunakan untuk mendefinisikan momentum bola  $p$ . Gunakan analisis dimensi untuk menentukan dimensi momentum!
- Dua buah vektor gaya  $\vec{F}_1$  dan  $\vec{F}_2$  masing-masing sebesar 6 N dan 10 N saling mengapit sudut  $60^\circ$  dan bertitik tangkap sama. Hitunglah jumlah kedua vektor gaya tersebut!
- Dua buah vektor gaya  $\vec{F}_1$  dan  $\vec{F}_2$  besarnya berbanding 5 : 12 bertitik tangkap sama saling mengapit sudut  $90^\circ$ . Jika resultannya 26 N, maka tentukan besar masing-masing vektor gaya tersebut!

# PETA KONSEP

## Bab 2 Gerak Lurus





# BAB

## 2

## GERAK LURUS



- Kendaraan yang bergerak membentuk lintasan lurus.

Sumber: *Dokumen Penerbit*, 2006

Setiap benda yang bergerak akan membentuk lintasan tertentu. Perhatikan gambar kendaraan yang sedang bergerak di atas! Bagaimanakah bentuk lintasannya? Pada saat bergerak mobil dan motor membentuk lintasan berupa garis lurus. Pada saat mobil dan motor bergerak kelajuannya semakin bertambah. Gerak lurus dibedakan menjadi gerak lurus beraturan dan gerak lurus berubah beraturan. Untuk lebih memahami tentang gerak lurus maka ikutilah uraian berikut ini.

## Kata Kunci

gerak, jarak, kecepatan, kelajuan, percepatan, perpindahan

Gerak merupakan perubahan posisi (kedudukan) suatu benda terhadap sebuah acuan tertentu. Perubahan letak benda dilihat dengan membandingkan letak benda tersebut terhadap suatu titik yang dianggap tidak bergerak (titik acuan), sehingga gerak memiliki pengertian yang relatif atau nisbi.

Studi mengenai gerak benda, konsep-konsep gaya, dan energi yang berhubungan, membentuk suatu bidang, yang disebut *mekanika*. Mekanika dibagi menjadi dua bagian, yaitu kinematika dan dinamika. *Kinematika* adalah ilmu yang mempelajari gerak benda tanpa meninjau gaya penyebabnya. Adapun dalam *dinamika* mempelajari tentang gerak dan gaya penyebabnya.

Pada bab ini, kalian mulai dengan membahas benda yang bergerak tanpa berotasi (berputar). Gerak seperti ini disebut gerak translasi. Pada bab ini kalian juga akan membahas penjelasan mengenai benda yang bergerak pada jalur yang lurus, yang merupakan gerak satu dimensi.



### A. Kedudukan, Jarak, dan Perpindahan



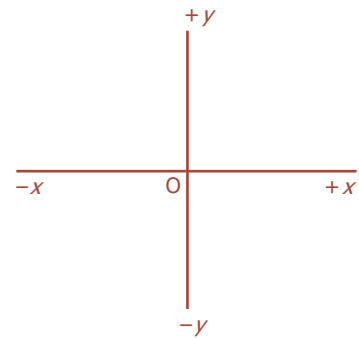
Sumber: Dokumen Penerbit, 2006

**Gambar 2.1** Seseorang yang berada di dalam kereta api berjalan ke arah depan kereta api, sementara itu kereta berjalan terhadap permukaan Bumi, sehingga laju orang tersebut relatif terhadap permukaan bumi.

**Kedudukan** diartikan sebagai letak (posisi) suatu benda pada waktu tertentu terhadap acuan. Pengukuran posisi, jarak, atau laju harus dibuat dengan mengacu pada suatu kerangka acuan atau kerangka sudut pandang. Sebagai contoh, ketika kalian berada di atas kereta api yang bergerak dengan laju 80 km/jam, kalian mungkin akan memerhatikan seseorang yang berjalan melewati ke arah depan kereta dengan laju tertentu, katakanlah 10 km/jam, tampak seperti pada Gambar 2.1. Tentu saja ini merupakan laju orang tersebut terhadap kereta sebagai kerangka acuan. Terhadap permukaan bumi, orang tersebut bergerak dengan laju  $80 \text{ km/jam} + 10 \text{ km/jam} = 90 \text{ km/jam}$ . Penentuan kerangka acuan penting dalam menyatakan laju.

Bahkan, jarak pun bergantung pada kerangka acuan. Sebagai contoh, tidak ada artinya jika saya memberitahu kalian bahwa kota Yogyakarta berjarak 60 km, kecuali saya memperjelas 60 km dari arah mana. Terlebih lagi, ketika menspesifikasikan gerak suatu benda, adalah penting untuk tidak hanya menyatakan laju tetapi juga arah gerak.

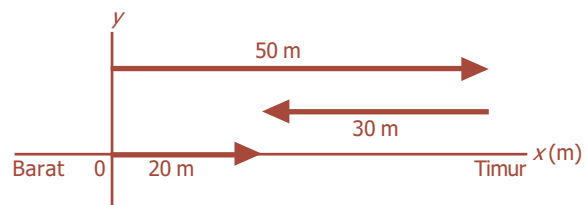
Seringkali kita dapat menyatakan arah dengan menggunakan titik-titik mata angin, yaitu Utara, Timur, Selatan, dan Barat, atau menggunakan “atas” dan “bawah”. Dalam fisika, kita sering menggunakan sumbu koordinat, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2, untuk menyatakan kerangka acuan. Kita akan selalu dapat menempatkan titik asal  $O$ , dan arah sumbu  $x$  dan  $y$ . Benda-benda yang diletakkan di kanan titik asal ( $O$ ) pada sumbu  $x$  memiliki koordinat  $x$  yang biasanya positif, dan titik-titik di sebelah kiri  $O$  memiliki koordinat negatif. Posisi sepanjang sumbu  $y$  biasanya dianggap positif jika berada di atas  $O$ , dan negatif jika di bawah  $O$ , walaupun peraturan yang menyatakan sebaliknya juga dapat digunakan jika lebih memudahkan. Semua titik pada bidang dapat dispesifikasikan dengan memberinya koordinat  $x$  dan  $y$ .



**Gambar 2.2** Pasangan standar sumbu koordinat  $xy$ .

Pada gerak satu dimensi, kita sering memilih sumbu  $x$  sebagai garis di mana gerakan tersebut terjadi. Dengan demikian, posisi benda pada setiap saat dinyatakan dengan koordinat  $x$  saja.

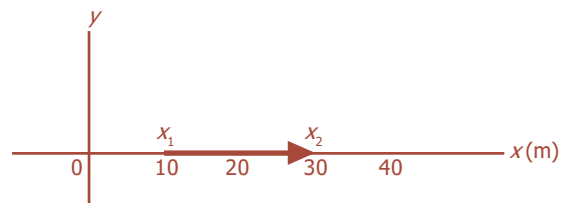
Dalam fisika, jarak dan perpindahan memiliki pengertian yang berbeda. **Perpindahan** didefinisikan sebagai perubahan posisi benda dalam selang waktu tertentu. Jadi, perpindahan adalah seberapa jauh jarak benda tersebut dari titik awalnya. Untuk melihat perbedaan antara jarak total dan perpindahan, misalnya seseorang berjalan sejauh 50 m ke arah Timur dan kemudian berbalik (ke arah Barat) dan berjalan menempuh jarak 30 m, lihat Gambar 2.3. Jarak total yang ditempuh adalah 80 m, tetapi perpindahannya hanya 20 m karena posisi orang itu pada saat ini hanya berjarak 20 m dari titik awalnya.



**Gambar 2.3** Seseorang berjalan 50 m ke Timur, dan berbalik arah 30 m ke Barat maka perpindahannya 20 m.

Jika sebuah benda bergerak selama selang waktu tertentu, misalnya pada saat  $t_1$  benda berada pada sumbu  $x$  di titik  $x_1$  pada sistem koordinat yang ditunjukkan oleh Gambar 2.4. Pada waktu  $t_2$  benda berada pada titik  $x_2$ . Perpindahan benda ini dapat dituliskan:

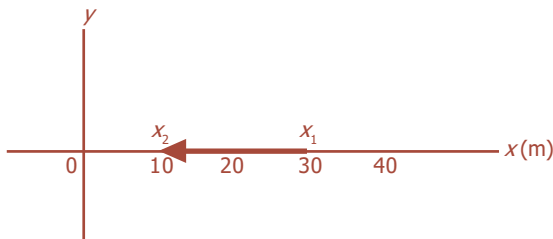
$$\Delta x = x_2 - x_1$$



**Gambar 2.4** Tanda panah menunjukkan perpindahan.

Simbol  $\Delta$  (delta) menyatakan perubahan suatu besaran. Dengan demikian,  $\Delta x$  berarti “perubahan pada  $x$ ” yang merupakan perpindahan. Perubahan besaran apapun berarti nilai akhir besaran tersebut dikurangi nilai awalnya. Sebagai contoh, pada Gambar 2.4 tersebut perpindahan yang terjadi dinyatakan:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 30 \text{ m} - 10 \text{ m} = 20 \text{ m}$$



**Gambar 2.5** Vektor perpindahan menunjuk ke kiri.

Sekarang kita lihat situasi yang berbeda, sebuah benda bergerak ke kiri seperti ditunjukkan Gambar 2.5. Di sini, misalnya seseorang mulai dari titik  $x_1 = 30 \text{ m}$  dan bergerak ke kiri sampai titik  $x_2 = 10 \text{ m}$ . Dalam hal ini perpindahan orang itu adalah:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 10 \text{ m} - 30 \text{ m} = -20 \text{ m}$$

Tanda panah tebal yang menyatakan vektor perpindahan menunjuk ke kiri. Hal tersebut menggambarkan bahwa ketika membahas gerak satu dimensi, vektor yang mengarah ke kanan memiliki nilai positif, sedangkan yang mengarah ke kiri memiliki nilai negatif.

### Uji Kemampuan 2.1

Sebuah mobil bergerak ke arah Timur sejauh 150 m, kemudian berbalik arah menuju ke Barat dan berhenti pada titik 60 m dari titik awal pergerakan mobil. Tentukan jarak dan perpindahan yang dialami mobil tersebut!



## B. Kelajuan dan Kecepatan



Sumber: *Jawa Pos*, 14 Juli 2006

**Gambar 2.6** Kelajuan dari tiap-tiap sepeda berbeda-beda tergantung pada jarak dan waktu tempuh.

### 1. Kelajuan rata-rata ( $\bar{v}$ ) dan kecepatan rata-rata ( $\bar{\mathbf{v}}$ )

Istilah “kelajuan” atau “laju” menyatakan seberapa jauh sebuah benda bergerak dalam selang waktu tertentu. Jika sebuah mobil menempuh 240 km dalam waktu 3 jam, dapat kita katakan bahwa laju rata-ratanya adalah 80 km/jam. Secara umum, **laju rata-rata** sebuah benda didefinisikan sebagai jarak total yang ditempuh sepanjang lintasannya dibagi waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak tersebut.

Secara matematis dituliskan:

$$\bar{v} = \frac{s}{t}$$

dengan:

- $\bar{v}$  = laju rata-rata (m/s)
- $s$  = jarak total yang ditempuh (m)
- $t$  = waktu tempuh yang diperlukan (s)

Istilah kecepatan dan laju sering dipertukarkan dalam bahasa sehari-hari. Tetapi dalam fisika kita membuat perbedaan di antara keduanya. Laju adalah sebuah bilangan positif dengan satuan m/s, yang menyatakan perbandingan jarak yang ditempuh oleh benda terhadap waktu yang dibutuhkan. Kecepatan digunakan untuk menyatakan baik besar (nilai numerik) mengenai seberapa cepat sebuah benda bergerak maupun arah geraknya. Dengan demikian, kecepatan merupakan besaran vektor. Ada perbedaan kedua antara laju dan kecepatan, yaitu kecepatan rata-rata didefinisikan dalam hubungannya dengan perpindahan, dan bukan dalam jarak total yang ditempuh.



Sumber: Encarta Encyclopedia, 2006

**Gambar 2.7** Kelajuan pesawat terbang akan berbeda dengan kelajuan kereta api.

$$\bar{v} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan:

- $\bar{v}$  = kecepatan rata-rata (m/s)
- $\Delta s = s_2 - s_1$  = perpindahan benda (m)
- $\Delta t = t_2 - t_1$  = interval waktu yang diperlukan (s)

Laju rata-rata dan kecepatan rata-rata sering memiliki besar yang sama, tetapi kadang-kadang tidak. Sebagai contoh, ingat perjalanan yang kita bahas sebelumnya, pada Gambar 2.3, di mana seseorang berjalan 50 m ke Timur, kemudian 30 m ke Barat. Jarak total yang ditempuh adalah 50 m + 30 m = 80 m, tetapi besar perpindahan adalah 20 m. Misalkan perjalanan ini memerlukan waktu 50 s, maka:

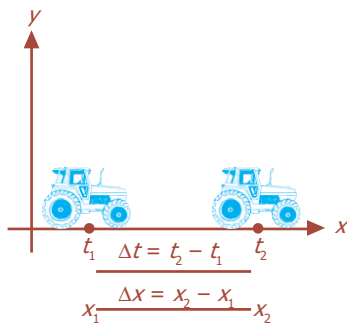
- Laju rata-rata :  $\bar{v} = \frac{\text{jarak}}{\text{waktu}} = \frac{80 \text{ m}}{50 \text{ s}} = 1,6 \text{ m/s}$
- Kecepatan rata-rata :  $\bar{v} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{waktu}} = \frac{20 \text{ m}}{50 \text{ s}} = 0,4 \text{ m/s}$

Perbedaan antara laju dan besar kecepatan terjadi pada beberapa kasus, tetapi hanya untuk nilai rata-rata, dan kita jarang memperhitungkannya.

Komet

Kolom mengingat

Laju rata-rata adalah jarak yang ditempuh per satuan waktu. Adapun kecepatan rata-rata adalah perpindahan yang ditempuh per satuan waktu.



**Gambar 2.8** Mobil bergerak dengan perpindahan  $\Delta x$  dalam selang waktu  $\Delta t$ .

Untuk membahas gerak satu dimensi sebuah benda pada umumnya, misalnya pada saat  $t_1$  mobil berada pada sumbu  $x$  di titik  $x_1$  pada sistem koordinat, dan beberapa waktu kemudian pada waktu  $t_2$  mobil berada pada titik  $x_2$ . Waktu yang diperlukan adalah  $\Delta t = t_2 - t_1$ , dan selama selang waktu ini perpindahan benda itu adalah  $\Delta x = x_2 - x_1$ . Dengan demikian, kecepatan rata-rata didefinisikan sebagai perpindahan dibagi waktu yang diperlukan, dapat dirumuskan:

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan:

$\bar{v}$  = kecepatan rata-rata (m/s)

$\Delta x = x_2 - x_1$  = perpindahan benda (m)

$\Delta t = t_2 - t_1$  = interval waktu yang diperlukan (s)

Pada persamaan tersebut, bila  $x_2$  lebih kecil dari  $x_1$ , benda bergerak ke kiri, berarti  $\Delta x = x_2 - x_1$  lebih kecil dari nol (bilangan negatif). Tanda perpindahan, dan berarti juga tanda kecepatan, menunjukkan arah kecepatan rata-rata positif untuk benda yang bergerak ke kanan sepanjang sumbu  $x$  dan negatif jika benda tersebut bergerak ke kiri. Arah kecepatan selalu sama dengan arah perpindahan.

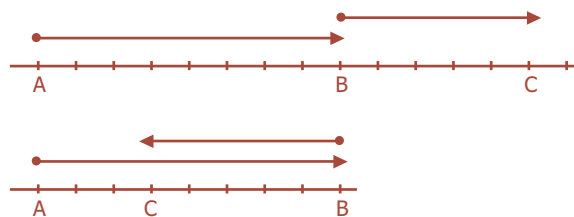
### Contoh Soal

Rena berjalan ke Timur sejauh 80 m, kemudian berbalik arah ke Barat menempuh jarak 50 m. Perjalanan tersebut memerlukan waktu 50 s. Berapakah kelajuan rata-rata dan kecepatan rata-rata Rena dalam perjalanannya?

*Penyelesaian:*

$$\begin{aligned} \text{Jarak total} &= AB + BC \\ &= 80 \text{ m} + 50 \text{ m} \\ &= 130 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Perpindahan} &= AB - BC \\ &= AB - BC \\ &= 80 \text{ m} - 50 \text{ m} \\ &= 30 \text{ m} \end{aligned}$$



$$\text{Kelajuan rata-rata} = \frac{\text{jarak total}}{\text{waktu tempuh}} = \frac{130 \text{ m}}{50 \text{ s}} = 2,6 \text{ m/s}$$

$$\text{Kecepatan rata-rata} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{waktu tempuh}} = \frac{30 \text{ m}}{50 \text{ s}} = 0,6 \text{ m/s}$$



## Uji Kemampuan 2.2

Sebuah mobil bergerak ke Timur dan menempuh jarak 80 km, kemudian berbelok ke Utara menempuh jarak 100 km. Jika perjalanan mobil tersebut ditempuh selama 2 jam 30 menit, tentukan:

- jarak,
- perpindahan,
- kecepatan, dan
- kelajuan!

## 2. Kecepatan Sesaat $v$

Jika kalian mengendarai sepeda motor sepanjang jalan yang lurus sejauh 120 km dalam waktu 2 jam, besar kecepatan rata-rata sepeda motor kalian adalah 60 km/jam. Walaupun demikian, tidak mungkin kalian mengendarai sepeda motor tersebut tepat 60 km/jam setiap saat. Untuk mengatasi situasi ini kita memerlukan konsep *kecepatan sesaat*, yang merupakan kecepatan benda pada saat tertentu. Kecepatan inilah yang ditunjukkan pada *spidometer*. Kecepatan sesaat pada waktu tertentu adalah kecepatan rata-rata selama selang waktu yang sangat kecil, yang dinyatakan oleh:

$$\bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Kecepatan sesaat didefinisikan sebagai kecepatan rata-rata pada limit  $\Delta t$  yang menjadi sangat kecil, mendekati nol. Kecepatan sesaat ( $v$ ) untuk satu dimensi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Notasi  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0}$  berarti rasio  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$  akan dievaluasi dengan limit  $\Delta t$  mendekati nol. Kita tidak hanya menentukan  $\Delta t = 0$  dalam definisi ini, jika demikian  $\Delta t$  juga akan menjadi nol, dan kita akan memperoleh angka yang tidak terdefinisi. Tetapi, kita memandang rasio  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$  sebagai satu kesatuan. Sementara kita menentukan  $\Delta t$  mendekati nol,  $\Delta x$  juga mendekati nol. Rasio  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$  mendekati suatu nilai tertentu, yang merupakan kecepatan sesaat pada waktu kapan pun.



Sumber: Dokumen Penerbit, 2006

**Gambar 2.9** Kecepatan sesaat yang ditunjukkan oleh spidometer.

### Contoh Soal

Seekor kucing bergerak pada lintasan garis lurus dan dinyatakan dalam persamaan  $x = 2t^2 + 5t - 3$  ( $x$  dalam meter dan  $t$  dalam sekon). Berapakah kecepatan sesaat kucing pada  $t = 2$  s?

*Penyelesaian:*

Kecepatan sesaat ditentukan dengan mengambil  $\Delta t$  sekecil mungkin pada  $t = 2$  s, maka  $x_1 = x$  pada  $t = 2$  s,  $x_1 = 2(2)^2 + 5(2) - 3 = 15$  m

Jika  $\Delta t = 0,1$  s, maka  $t_2 = 2,1$  s

$$\begin{aligned}x_2 &= 2(2,1)^2 + 5(2,1) - 3 \\&= 16,32 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan rata-rata} &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\&= \frac{16,32 \text{ m} - 15 \text{ m}}{0,1 \text{ s}} \\&= 13,2 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Jika  $t_1 = 0,01$  s, maka  $t_2 = 2,01$  s

$$\begin{aligned}x_2 &= 2(2,01)^2 + 5(2,01) - 3 \\&= 15,1302 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan rata-rata} &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\&= \frac{15,1302 \text{ m} - 15 \text{ m}}{0,01 \text{ s}} \\&= 13,02 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Jika  $\Delta t = 0,001$  s, maka  $t_2 = 2,001$  s

$$x_2 = 2(2,001)^2 + 5(2,001) - 3 = 15,013002 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan rata-rata} &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\&= \frac{15,013002 \text{ m} - 15 \text{ m}}{0,001 \text{ s}} \\&= 13,002 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$\Delta t$ (s)	$v$ (m/s)
0,1 s	13,2
0,01 s	13,02
0,001 s	13,002

Dari tabel di atas, semakin kecil  $\Delta t$  yang diambil, maka kecepatan rata-rata mendekati 13 m/s. Jadi, dapat disimpulkan bahwa kecepatan sesaat kucing pada  $t = 2$  s adalah 13 m/s.



Jika sebuah benda bergerak dengan kecepatan beraturan (konstan) selama selang waktu tertentu, maka kecepatan sesaat pada tiap waktu sama dengan kecepatan rata-ratanya, perhatikan Gambar 2.10(a). Tetapi pada umumnya hal ini tidak terjadi. Misalnya, sebuah mobil mulai bergerak dari keadaan diam melaju sampai 50 km/jam, berjalan dengan kecepatan tersebut untuk beberapa saat, kemudian melambat sampai 20 km/jam dalam kemacetan, dan akhirnya berhenti di tujuannya setelah menempuh 15 km dalam 30 menit. Perjalanan ini digambarkan pada grafik Gambar 2.10(b). Pada grafik tersebut ditunjukkan juga kecepatan rata-rata (garis terputus-putus), sebesar:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{15 \text{ km}}{0,5 \text{ jam}} = 30 \text{ km/jam}$$



## C. Percepatan

Sebuah benda yang kecepatannya berubah tiap satuan waktu dikatakan mengalami percepatan. Sebuah mobil yang kecepatannya diperbesar dari nol sampai 90 km/jam berarti dipercepat. Apabila sebuah mobil dapat mengalami perubahan kecepatan seperti ini dalam waktu yang lebih cepat dari mobil lainnya, maka dikatakan bahwa mobil tersebut mendapat percepatan yang lebih besar. Dengan demikian, percepatan menyatakan seberapa cepat kecepatan sebuah benda berubah.

### 1. Percepatan Rata-Rata $\bar{a}$

Percepatan rata-rata didefinisikan sebagai perubahan kecepatan dibagi waktu yang diperlukan untuk perubahan tersebut.

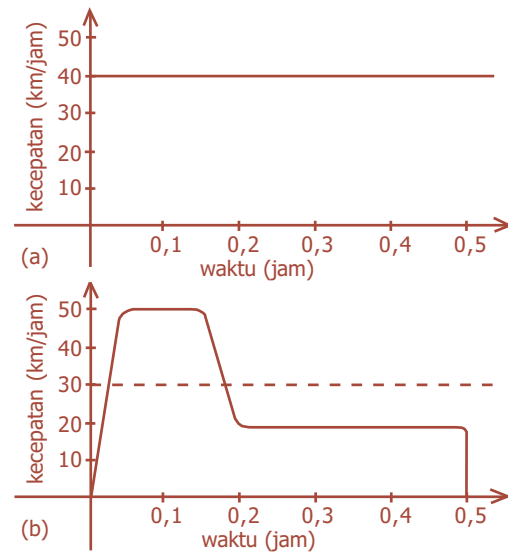
$$\begin{aligned} \text{Percepatan rata-rata} &= \frac{\text{perubahan kecepatan}}{\text{waktu yang diperlukan}} \\ \bar{a} &= \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \end{aligned}$$

dengan:

$\bar{a}$  = percepatan rata-rata (m/s<sup>2</sup>)

$\Delta v = v_2 - v_1$  = perubahan kecepatan (m/s)

$\Delta t = t_2 - t_1$  = interval waktu yang diperlukan (s)



**Gambar 2.10** Kecepatan sebuah mobil sebagai fungsi waktu dengan: (a) kecepatan konstan; (b) kecepatan berubah-ubah.



Sumber: *Jawa Pos*, 26 Agustus 2006

**Gambar 2.11** Ketika balapan sepeda orang akan menambah kecepatan sehingga percepatannya bertambah.

Percepatan juga termasuk besaran vektor, tetapi untuk gerak satu dimensi kita hanya perlu menggunakan tanda positif (+) atau negatif (-) untuk menunjukkan arah relatif terhadap sistem koordinat yang dipakai.

### Contoh Soal

Kecepatan gerak sebuah mobil berubah dari 10 m/s menjadi 16 m/s dalam selang waktu 3 sekon. Berapakah percepatan rata-rata mobil dalam selang waktu tersebut?

*Penyelesaian:*

Diketahui:

$$v_1 = 10 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 16 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 3 \text{ s}$$

Ditanya:  $\bar{a} = \dots ?$

Jawab:

$$\begin{aligned}\bar{a} &= \frac{\Delta v}{\Delta t} \\ &= \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \\ &= \frac{16 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s}}{3 \text{ s}} \\ &= 2 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

**Komet**  
Kolom mengingat

Kecepatan dirumuskan  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ ,  
sedangkan percepatan  
dirumuskan  $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ .

## 2. Percepatan Sesaat $a$

Percepatan sesaat dapat didefinisikan sebagai percepatan rata-rata pada limit  $\Delta t$  yang menjadi sangat kecil, mendekati nol. Percepatan sesaat ( $a$ ) untuk satu dimensi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dalam hal ini  $\Delta v$  menyatakan perubahan yang sangat kecil pada kecepatan selama selang waktu  $\Delta t$  yang sangat pendek. Perhatikan dengan teliti bahwa *percepatan menunjukkan seberapa cepat kecepatan berubah*, sementara *kecepatan menunjukkan seberapa cepat posisi berubah*.



## D. Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Dalam kehidupan sehari-hari, seringkali kita menemukan peristiwa yang berkaitan dengan gerak lurus beraturan, misalnya orang yang berjalan dengan langkah kaki yang relatif konstan, mobil yang sedang bergerak, dan sebagainya.

Suatu benda dikatakan mengalami *gerak lurus beraturan* jika lintasan yang ditempuh oleh benda itu berupa garis lurus dan kecepatannya selalu tetap setiap saat. Sebuah benda yang bergerak lurus menempuh jarak yang sama untuk selang waktu yang sama. Sebagai contoh, apabila dalam waktu 5 sekon pertama sebuah mobil menempuh jarak 100 m, maka untuk waktu 5 sekon berikutnya mobil itu juga menempuh jarak 100 m.

Secara matematis, persamaan gerak lurus beraturan (GLB) adalah:

$$s = v \cdot t \text{ atau } v = \frac{s}{t} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan:

$s$  = jarak yang ditempuh (m)

$v$  = kecepatan (m/s)

$t$  = waktu yang diperlukan (s)

Jika kecepatan  $v$  mobil yang bergerak dengan laju konstan selama selang waktu  $t$  sekon, diilustrasikan dalam sebuah grafik  $v$ - $t$ , akan diperoleh sebuah garis lurus, tampak seperti pada Gambar 2.13.

Grafik hubungan  $v$ - $t$  tersebut menunjukkan bahwa kecepatan benda selalu tetap, tidak tergantung pada waktu, sehingga grafiknya merupakan garis lurus yang sejajar dengan sumbu  $t$  (waktu). Berdasarkan Gambar 2.13, jarak tempuh merupakan luasan yang dibatasi oleh grafik dengan sumbu  $t$  dalam selang waktu tertentu. Hal ini berlaku pula untuk segala bentuk grafik yaitu lurus maupun lengkung.

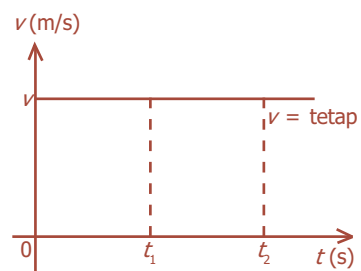
Sementara itu, hubungan jarak yang ditempuh  $s$  dengan waktu  $t$ , diilustrasikan dalam sebuah grafik  $s$ - $t$ , sehingga diperoleh sebuah garis diagonal ke atas, tampak seperti pada Gambar 2.14.

Dari grafik hubungan  $s$ - $t$  tampak pada Gambar 2.14, dapat dikatakan jarak yang ditempuh  $s$  benda berbanding lurus dengan waktu tempuh  $t$ . Makin besar waktunya makin besar jarak yang ditempuh. Berdasarkan Gambar 2.14, grafik hubungan antara jarak  $s$  terhadap waktu  $t$  secara matematis merupakan harga  $\tan \alpha$ , di mana  $\alpha$  adalah sudut antara garis grafik dengan sumbu  $t$  (waktu).

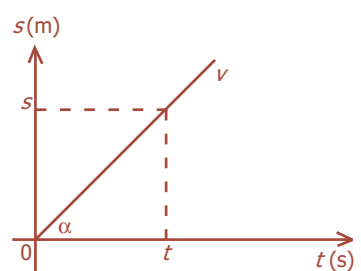


Sumber: *Tempo*, Desember 2005

**Gambar 2.12** Mobil dikatakan mengalami gerak lurus beraturan jika lintasan-nya lurus dan kecepatan konstan.



**Gambar 2.13** Grafik hubungan  $v$ - $t$  pada gerak lurus beraturan.



**Gambar 2.14** Grafik hubungan  $s$ - $t$  pada gerak lurus beraturan.

### Contoh Soal

Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 72 km/jam. Pada jarak 18 km dari arah yang berlawanan, sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 90 km/jam. Kapan dan di manakah kedua mobil tersebut akan berpapasan?

*Penyelesaian:*

$$v_1 = 72 \text{ km/jam} = \frac{72.000 \text{ m}}{\text{jam}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3.600 \text{ s}} = 20 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 90 \text{ km/jam} = \frac{90.000 \text{ m}}{\text{jam}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3.600 \text{ s}} = 25 \text{ m/s}$$



Jarak kedua mobil =  $PQ = 18 \text{ km} = 18.000 \text{ m}$

Misal, titik  $R$  merupakan titik di mana kedua mobil tersebut berpapasan, maka:

$$PQ = PR + QR$$

Dengan:  $PR$  = jarak tempuh mobil 1

$QR$  = jarak tempuh mobil 2

Maka:

$$PQ = v_1 t + v_2 t$$

$$18.000 = (20t + 25t)$$

$$18.000 = 45 t$$

$$45 t = 18.000$$

$$t = 400 \text{ s}$$

$$PQ = v_1 t = (20 \text{ m/s})(400 \text{ s}) = 8.000 \text{ m} = 8 \text{ km}$$

$$QR = v_2 t = (25 \text{ m/s})(400 \text{ s}) = 10.000 \text{ m} = 10 \text{ km}$$

Jadi, kedua mobil tersebut berpapasan setelah 400 s bergerak, dan setelah mobil pertama menempuh jarak 8 km atau setelah mobil kedua menempuh jarak 10 km.

### Uji Kemampuan 2.3

Sebuah bus bergerak lurus beraturan dengan jarak tempuh 10 km selama 15 menit. Jika bus harus menempuh jarak 60 km untuk sampai ke terminal, dalam waktu berapa jam bus tersebut tiba di terminal?

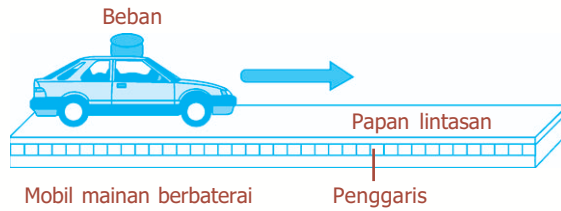
### Kegiatan

Tujuan : Melakukan percobaan gerak lurus beraturan dengan mobil mainan berbaterai.  
Alat dan bahan : Mobil mainan berbaterai, neraca/timbangan, papan mendatar berpenggaris, beban, dan stopwatch.

### Cara Kerja:

1. Timbanglah massa mobil mainan beserta baterai dan bebannya.

- Pasanglah batu baterai baru pada mobil mainan, letakkan di atas papan mendatar berpenggaris, dan *on*-kan baterainya, maka mobil itu akan meluncur di atas papan.
- Tentukan sepanjang lintasan papan mendatar dengan jarak tertentu  $s$  berdasarkan penggaris yang tersedia, ukurlah waktunya dengan stopwatch ( $t$ ) ketika mobil mainan tersebut melintasi lintasan papan mendatar tersebut.
- Ulangilah langkah 2 dan 3 untuk berbagai panjang lintasan yang berbeda.
- Ulangi langkah 1 sampai dengan 4 untuk mobil mainan yang diberi beban di atasnya.
- Masukkan hasil data percobaan pada tabel yang tersedia.
- Tentukan laju dari mobil mainan tersebut.
- Buatlah grafik antara panjang lintasan ( $s$ ) dengan waktu tempuh ( $t$ ).

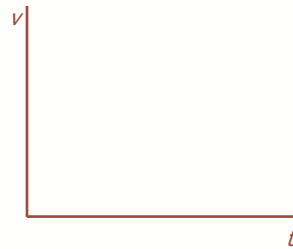


Massa Mobil Mainan + Beban	$s$ (Lintasan)	Waktu Tempuh ( $t$ )	Laju ( $s/t$ )

Grafik  $s-t$



Grafik  $v-t$



#### Diskusi:

- Apa yang dimaksud gerak lurus beraturan?
- Dengan menggunakan rumusan panjang lintasan dan kecepatan, dapatkah dihitung komponen lainnya? Jelaskan dengan singkat!



## E. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Banyak situasi praktis terjadi ketika percepatan konstan atau mendekati konstan, yaitu jika percepatan tidak berubah terhadap waktu. Situasi ketika besar percepatan konstan dan gerak melalui garis lurus disebut **gerak lurus berubah beraturan (GLBB)**. Dalam hal ini, percepatan sesaat dan percepatan rata-rata adalah sama.



Sumber: CD ClipArt

**Gambar 2.15** Buah kelapa yang jatuh dari pohonnya merupakan contoh gerak lurus berubah beraturan.

## 1. Hubungan antara Kecepatan $v$ , Percepatan $a$ , dan Waktu $t$ pada GLBB

Untuk memudahkan notasi ataupun penulisan persamaan, kita anggap waktu awal untuk setiap pembahasan adalah nol yaitu  $t_1 = 0$ . Kemudian kita tentukan  $t_2 = t$  sebagai waktu yang diperlukan. Posisi awal  $x_1 = x_0$  dan kecepatan awal  $v_1 = v_0$ , dan pada waktu  $t$  posisi dan kecepatan benda masing-masing adalah  $x$  dan  $v$  (bukan  $x_2$  dan  $v_2$ ). Berarti kecepatan rata-rata selama waktu  $t$  berdasarkan persamaan untuk kecepatan rata-rata dirumuskan:

$$\bar{v} = \frac{x - x_0}{t - t_0} = \frac{x - x_0}{t}$$

Karena  $t_0 = 0$  dan percepatan dianggap konstan terhadap waktu, maka diperoleh persamaan:

$$a = \frac{v - v_0}{t} \dots\dots\dots (2.5)$$

Selanjutnya, kita dapat menentukan kecepatan sebuah benda setelah rentang waktu tertentu jika diketahui percepatannya. Kita kalikan dengan  $t$  pada kedua sisi persamaan tersebut maka akan diperoleh:

$$at = v - v_0$$

sehingga dapat dituliskan:

$$v = v_0 + at \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan:

- $v_0$  = kecepatan awal (m/s)
- $v$  = kecepatan akhir (m/s)
- $a$  = percepatan ( $\text{m/s}^2$ )
- $t$  = waktu (s)

### Contoh Soal

Sebuah mobil mulai bergerak dari keadaan diam dengan percepatan tetap  $8 \text{ m/s}^2$ . Berapakah kecepatan mobil setelah bergerak selama 6 sekon?

*Penyelesaian:*

Diketahui :  $v_0 = 0$ ;  $a = 8 \text{ m/s}^2$ ;  $t = 6 \text{ s}$

Ditanya :  $v_t = \dots ?$

Jawab :  $v_t = v_0 + at$   
 $= 0 + (8 \text{ m/s}^2) (6 \text{ s})$   
 $v_t = 48 \text{ m/s}$

## 2. Hubungan antara Perpindahan $s$ , Percepatan $a$ , dan Waktu $t$ pada GLBB

Selanjutnya, kita lihat bagaimana menghitung posisi benda setelah waktu  $t$  ketika benda tersebut mengalami percepatan konstan. Dari definisi kecepatan rata-rata:

$$\bar{v} = \frac{x - x_0}{t}$$

Persamaan ini bisa kita tuliskan:

$$x = x_0 + \bar{v} t$$

Karena kecepatan bertambah secara beraturan, kecepatan rata-rata  $\bar{v}$  akan berada di tengah-tengah antara kecepatan awal dan kecepatan akhir, yang dirumuskan:

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v}{2} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan menggabungkan dua persamaan (2.6) dengan persamaan (2.7) didapatkan:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + \bar{v} t \\ &= x_0 + \left( \frac{v_0 + v}{2} \right) t \\ &= x_0 + \left( \frac{v_0 + v_0 + at}{2} \right) t \end{aligned}$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \dots\dots\dots (2.8)$$


dengan:

$x_0$  = posisi awal (m)                       $v$  = kecepatan akhir (m/s)  
 $x$  = posisi akhir (m)                       $a$  = percepatan (m/s<sup>2</sup>)  
 $v_0$  = kecepatan awal (m/s)               $t$  = waktu (s)

## 3. Hubungan antara Perpindahan $s$ , Kecepatan $v$ , dan Percepatan $a$ pada GLBB

Persamaan (2.6), (2.7), dan (2.8) merupakan tiga dari empat persamaan yang sangat berguna untuk gerak dengan percepatan konstan (GLBB). Sekarang kita turunkan persamaan selanjutnya, yang berguna pada situasi di mana waktu  $t$  tidak diketahui. Dari persamaan sebelumnya diperoleh:

$$x = x_0 + \bar{v} t = x_0 + \left( \frac{v + v_0}{2} \right) t$$

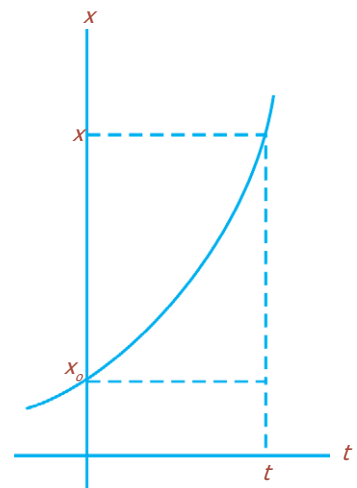


Komet

Kolom mengingat

GLBB dibedakan menjadi dua, yaitu:

- GLBB dipercepat dengan  $a$  bertanda positif.
- GLBB diperlambat dengan  $a$  bertanda negatif, disebut perlambatan.



**Gambar 2.16** Grafik perpindahan dan waktu pada GLBB.

Pewaktu ketik (ticker timer) adalah alat yang digunakan untuk menyelidiki suatu benda bergerak lurus beraturan atau tidak.

Kemudian persamaan (2.6) kita selesaikan untuk mendapatkan:

$$t = \frac{v - v_0}{a} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan ini ke persamaan sebelumnya, kita dapatkan:

$$x = x_0 + \left( \frac{v + v_0}{2} \right) \left( \frac{v - v_0}{a} \right) = x_0 + \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

Selanjutnya, kita selesaikan persamaan ini untuk mendapatkan:

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0) \dots\dots\dots (2.10)$$

dengan:

$v_0$  = kecepatan awal (m/s)     $x_0$  = posisi awal (m)

$v$  = kecepatan akhir (m/s)     $x$  = posisi akhir (m)

$a$  = percepatan (m/s<sup>2</sup>)

Kita sekarang mempunyai beberapa persamaan yang merupakan hubungan posisi, kecepatan, percepatan, dan waktu, jika percepatan konstan. Untuk referensi, kita kumpulkan persamaan itu dalam satu tempat sebagai berikut:

$$v = v_0 + at$$

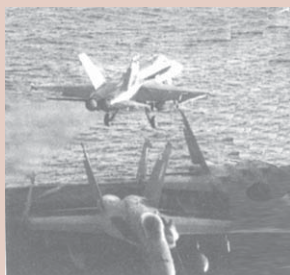
$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

$$\bar{v} = \frac{v + v_0}{2}$$

Persamaan-persamaan tersebut tidak berlaku jika percepatannya berubah. Pada banyak kasus kita bisa menentukan  $x_0 = 0$ , hal ini akan sedikit menyederhanakan persamaan-persamaan di atas. Perhatikan bahwa  $x$  menyatakan posisi, bukan jarak, dan  $x - x_0$  adalah perpindahan.

## Percikan Fisika



### Gerak Pesawat

Gerak sebuah pesawat terbang yang dilepaslandaskan dari dek kapal induk merupakan contoh dari percepatan yang hampir konstan. Berkat pelontarnya, pesawat-pesawat terbang ini mendapatkan laju lepas landasnya dalam jarak kurang dari 100 m.



### Uji Kemampuan 2.4

Sebuah mobil dengan kecepatan awal 40 km/jam melaju di jalan lurus dengan percepatan konstan dan menempuh jarak 30 km dalam waktu 20 menit. Tentukan dalam SI:

- kecepatan rata-rata,
- kecepatan akhir, dan
- percepatan!



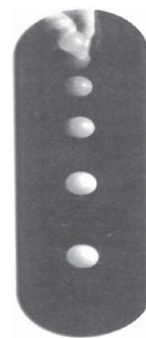
### F. Gerak Jatuh Bebas

Salah satu contoh gerak yang paling umum mengenai gerak lurus berubah beraturan (GLBB) adalah benda yang mengalami jatuh bebas dengan jarak yang tidak jauh dari permukaan tanah. Kenyataan bahwa benda yang jatuh mengalami percepatan, mungkin pertama kali tidak begitu terlihat. Sebelum masa Galileo, orang mempercayai pemikiran bahwa benda yang lebih berat jatuh lebih cepat dari benda yang lebih ringan, dan bahwa laju jatuh benda tersebut sebanding dengan berat benda itu.

Galileo menemukan bahwa semua benda akan jatuh dengan *percepatan konstan yang sama* jika tidak ada udara atau hambatan lainnya. Ia menyatakan bahwa untuk sebuah benda yang jatuh dari keadaan diam tampak seperti pada Gambar 2.17, jarak yang ditempuh akan sebanding dengan kuadrat waktu,  $h \propto t^2$ .

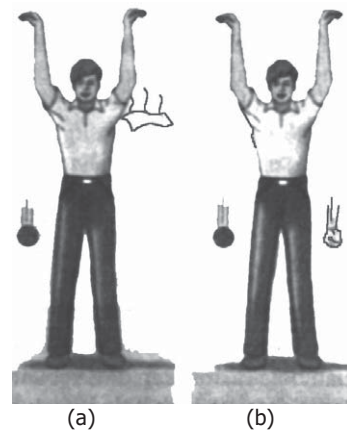
Untuk memperkuat penemuannya bahwa laju benda yang jatuh bertambah ketika benda itu jatuh, Galileo menggunakan argumen yang cerdas. Sebuah batu berat yang dijatuhkan dari ketinggian 2 m akan memukul sebuah tiang pancang lebih dalam ke tanah dibandingkan dengan batu yang sama tetapi dijatuhkan dari ketinggian 0,2 m. Jelas, batu tersebut bergerak lebih cepat pada ketinggian yang pertama.

Galileo juga menegaskan bahwa semua benda, berat atau ringan jatuh dengan percepatan yang sama, jika tidak ada udara (hampa udara). Jika kalian memegang selembar kertas secara horizontal pada satu tangan dan sebuah benda lain yang lebih berat, misalnya sebuah bola di tangan yang lain, dan melepaskan kertas dan bola tersebut pada saat yang sama seperti pada Gambar 2.18(a), benda yang lebih berat akan lebih dulu mencapai tanah.



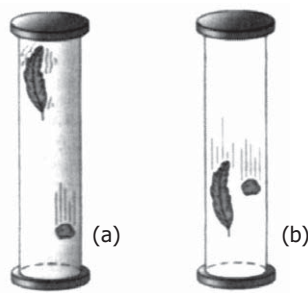
Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*, PT Ichtiar Baru van Hoeve, 2005

**Gambar 2.17** Foto rangkap benda jatuh bebas.



Sumber: *Fisika Jilid 1*, Erlangga, 2001

**Gambar 2.18** (a) Sebuah bola dan kertas yang ringan dijatuhkan pada saat yang sama, (b) Percobaan yang sama diulangi, tetapi dengan kertas yang berbentuk gumpalan.



Sumber: *Fisika Jilid 1*, Erlangga, 2001

**Gambar 2.19** Sebuah batu dan bulu ayam dijatuhkan dari ketinggian yang sama: (a) di udara; (b) di ruang hampa.



Sumber: *Encarta Encyclopedia*, 2006

**Gambar 2.20** Galileo, ilmuwan yang pertama kali menyelidiki benda jatuh bebas.

Tetapi jika kalian mengulang percobaan ini, dengan membentuk kertas menjadi gumpalan kecil tampak seperti pada Gambar 2.18(b), kalian akan melihat bahwa kedua benda tersebut mencapai lantai pada saat yang hampir sama.

Galileo yakin bahwa udara berperan sebagai hambatan untuk benda-benda yang sangat ringan yang memiliki permukaan yang luas. Tetapi pada banyak keadaan biasa, hambatan udara ini bisa diabaikan. Pada suatu ruang di mana udara telah dihisap, maka benda ringan seperti bulu atau selembar kertas yang dipegang horizontal akan jatuh dengan percepatan yang sama seperti benda yang lain, tampak seperti pada Gambar 2.19. Demonstrasi pada ruang hampa udara seperti ini tidak ada pada masa Galileo, yang membuat keberhasilan Galileo lebih hebat lagi.

Galileo sering disebut “Bapak sains modern”, tidak hanya disebabkan isi dari sainsnya (penemuan astronomik, inersia, jatuh bebas), tetapi juga gaya atau pendekatannya terhadap sains (idealisasi dan penyederhanaan, matematisasi teori, teori yang memiliki hasil yang dapat diuji, eksperimen untuk menguji ramalan teoritis). Sumbangan Galileo yang spesifik terhadap pemahaman kita mengenai gerak benda jatuh bebas dapat dirangkum sebagai berikut:

*“Pada suatu lokasi tertentu di Bumi dan dengan tidak adanya hambatan udara, semua benda jatuh dengan percepatan konstan yang sama”.*

Kita menyebut percepatan ini percepatan yang disebabkan oleh gravitasi pada Bumi dan diberi simbol dengan  $g$ , besar percepatan gravitasi kira-kira  $g = 9,80 \text{ m/s}^2$ .

Besar percepatan gravitasi  $g$  sedikit bervariasi menurut garis lintang dan ketinggian, tampak pada Tabel 2.1. Tetapi variasi ini begitu kecil sehingga kita bisa mengabaikannya untuk sebagian besar kasus. Efek hambatan udara seringkali kecil, dan akan sering kita abaikan. Bagaimanapun, hambatan udara akan tampak, bahkan pada benda yang cukup berat jika kecepatannya besar.

**Tabel 2.1** percepatan gravitasi pada berbagai lokasi di Bumi

Lokasi	Ketinggian (m)	$g \text{ (m/s}^2\text{)}$
New York	0	9,803
San Fransisco	100	9,800
Denver	1.650	9,796

Pikes Peak	4.300	9,789
Khatulistiwa	0	9,780
Kutub utara (terhitung)	0	9,832

Ketika membahas benda-benda yang jatuh bebas kita bisa memakai persamaan di mana untuk  $a$  kita gunakan nilai  $g$  yang telah diberikan. Selain itu, karena gerak tersebut vertikal, kita akan mengganti  $x$  dengan  $y$ , dan menempatkan  $y_0$  di tempat  $x_0$ . Kita ambil  $y_0 = 0$ , kecuali jika ditentukan lain. Tidak masalah apakah kita memilih  $y$  positif pada arah ke atas atau arah ke bawah, yang penting kita harus konsisten sepanjang penyelesaian soal. Secara matematis persamaan pada gerak jatuh bebas dirumuskan sebagai berikut:



Percepatan pada gerak jatuh bebas bernilai tetap sebesar percepatan gravitasi.

$$\begin{aligned} v &= v_0 + gt \\ y &= v_0 t + \frac{1}{2} gt^2 \\ v^2 &= v_0^2 + 2gy \\ \bar{v} &= \frac{v+v_0}{2} \end{aligned}$$

dengan:

$v_0$  = kecepatan awal (m/s)  
 $v$  = kecepatan akhir (m/s)  
 $g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )  
 $y$  = jarak tempuh benda (m)  
 $t$  = waktu (s)

### Contoh Soal

Doni melempar sebuah bola dari puncak gedung apartemen setinggi 37,6 m. Tepat pada saat yang sama Yusuf yang tingginya 160 cm berjalan mendekati kaki gedung dengan kecepatan tetap 1,4 m/s. Berapa jarak Yusuf dari kaki gedung tepat pada saat bola jatuh, jika bola yang dijatuhkan tersebut tepat mengenai kepala Yusuf?

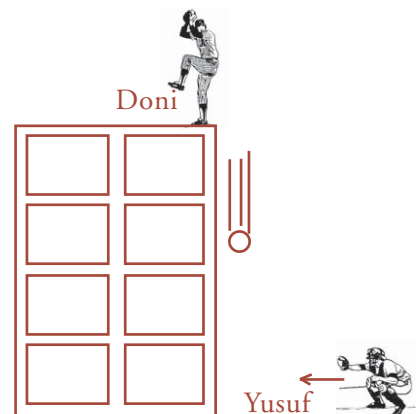
*Penyelesaian:*

Bola mengalami gerak jatuh bebas

$$v_0 = 0$$

$$a = -g = -9,8 \text{ m/s}^2$$

Jarak tempuh bola =  $37,6 \text{ m} - 160 \text{ cm} = 37,6 \text{ m} - 1,6 \text{ m} = 36 \text{ m}$ . Jadi,  $y = -36$ .



$$y = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = 0 + \frac{1}{2} a t^2 \Leftrightarrow t^2 = \frac{2y}{a}$$

$$t^2 = \frac{2(-36 \text{ m})}{-9,8 \text{ m/s}^2} = \frac{2(360 \text{ m})}{9,8 \text{ m/s}^2} = \frac{2 \times 10 \times 36}{2 \times 49} = \frac{36 \times 10}{49} = \frac{36 \times 10}{49} \Leftrightarrow t = \frac{6}{7} \sqrt{10} \text{ s}$$

Jika waktu tempuh Yusuf sama dengan waktu jatuh bola, maka bola tersebut akan mengenai kepala Yusuf. Yusuf mengalami gerak lurus beraturan dengan  $v = 1,4 \text{ m/s}$ , maka jarak Yusuf semula dari kaki gedung adalah:

$$s = v \cdot t = (1,4 \text{ m/s}) \left( \frac{6}{7} \sqrt{10} \text{ s} \right) = 1,2 \sqrt{10} \text{ m}$$

### Uji Kemampuan 2.5

1. Sebutir kelapa jatuh bebas dari ketinggian 15 m. Berapa waktu yang diperlukan kelapa tersebut untuk mencapai tanah?
2. Indra menjatuhkan sebuah batu ke dalam sungai, 4 detik kemudian dia mendengar bunyi “pluk” pada saat batu tersebut mengenai permukaan air. Tentukan:
  - a. kecepatan batu ketika mengenai air, dan
  - b. kedudukan Indra di atas permukaan air!



## Gerak Vertikal ke Atas



Sumber: Dokumen Penerbit, 2006

**Gambar 2.21** Lama bola di udara sebelum jatuh ke tangan.

Pada Gambar 2.21, sebuah bola dilempar ke atas. Pada saat bola naik, lajunya berkurang sampai mencapai titik tertinggi, di mana lajunya nol untuk sesaat, kemudian bola itu turun dengan laju yang bertambah cepat. Pada gerak vertikal ke atas, terjadi dengan kecepatan awal  $v_0$  dan percepatan melawan gravitasi bumi ( $-g$ ).

### 1. Ketinggian Maksimum $y_{\text{maks}}$

Untuk menentukan ketinggian maksimum, kita hitung posisi bola ketika kecepatannya sama dengan nol ( $v = 0$ ) pada titik tertinggi. Pada saat mula-mula  $t = 0$ , ketinggian mula-mula  $y_0 = 0$ , kecepatan awal  $v_0$ , dan percepatannya  $a = -g$ . Sehingga kita dapatkan persamaan:

$$v^2 = v_0^2 - 2gy$$

$$0 = v_0^2 - 2gy$$

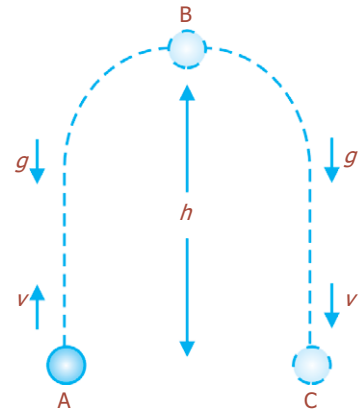
$$y_{\text{maks}} = \frac{v_0^2}{2g} \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan:

- $y_{\text{maks}}$  = ketinggian maksimum (m)  
 $v_0$  = kecepatan awal (m/s)  
 $g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

## 2. Lama Benda di Udara $t_c = 2 t_{\text{maks}}$

Pada Gambar 2.21, kita bisa menentukan berapa lama waktu bola di udara sebelum kembali ke tangan orang tersebut. Kita bisa melakukan perhitungan ini dalam dua bagian, pertama menentukan waktu yang dibutuhkan benda untuk mencapai titik tertinggi, dan kedua menentukan waktu yang diperlukan untuk jatuh kembali. Bagaimanapun, akan lebih mudah untuk melihat gerak dari A ke B ke C, tampak seperti pada Gambar 2.22. Kita dapat melakukan perhitungan ini karena  $y$  (atau  $x$ ) menyatakan posisi atau perpindahan, bukan jarak total yang ditempuh. Dengan demikian, pada kedua titik A dan C, posisi benda adalah  $y = 0$ . Dengan menggunakan persamaan GLBB dan  $a = -g$ , diperoleh hal-hal berikut ini.



**Gambar 2.22** Sebuah benda dilempar vertikal ke atas lajunya berkurang.

- a. Waktu yang dibutuhkan benda untuk mencapai titik tertinggi:

$$v = v_0 - gt$$

$$0 = v_0 - gt$$

$$t_B = t_{\text{maks}} = \frac{v_0}{g} \dots\dots\dots (2.12)$$

- b. Waktu yang diperlukan untuk jatuh kembali

$$y_0 = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$0 = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$t_C = \frac{2v_0}{g} \text{ atau } t_C = 2t_{\text{maks}} \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan:

$t_{\text{maks}}$  = waktu mencapai ketinggian maksimum (s)

$t_C$  = waktu diperlukan untuk jatuh kembali (s)

$v_0$  = kecepatan awal (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

### Contoh Soal

1. Sebuah bola dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan 60 m/s. Jika percepatan gravitasi  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:
  - a. waktu yang diperlukan bola untuk mencapai ketinggian maksimum,
  - b. kecepatan bola saat tiba di tanah,
  - c. waktu yang diperlukan bola untuk kembali ke tanah!

*Penyelesaian:*

- a. Bola mengalami gerak vertikal ke atas, maka  $a = -g = -10 \text{ m/s}^2$ . Saat mencapai titik tertinggi, kecepatan bola adalah nol ( $v_t = 0$ ), maka:

$$v_t = v_0 + at$$

$$0 = v_0 + at$$

$$t = -\frac{v_0}{a} = \frac{-60 \text{ m/s}}{-10 \text{ m/s}^2} = 6 \text{ s}$$

- b. Kecepatan pada saat tiba di tanah sama dengan kecepatan bola saat dilempar dari tanah, hanya saja tandanya menjadi negatif (-)

$$v_A = -v_0 = -60 \text{ m/s (arah ke bawah)}$$

- c. Gerak bola pada saat naik simetris dengan gerak bola saat turun. Hal ini berarti waktu naik sama dengan waktu turun ( $t = 6 \text{ s}$ ), sehingga waktu yang diperlukan bola untuk kembali ke tanah adalah:

$$t_{\text{tot}} = 2t = 2(6) \text{ s} = 12 \text{ s}$$

2. Sebuah bola dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal  $30 \text{ m/s}$ . Jika percepatannya adalah  $10 \text{ m/s}^2$  ke bawah, berapa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik tertingginya, dan berapakah jarak ke titik tertinggi itu?

*Penyelesaian:*

a.  $v = v_0 + at$

$$0 = 30 \text{ m/s} + (-10 \text{ m/s}^2)t$$

$$t = \frac{30 \text{ m/s}}{10 \text{ m/s}^2} = 3,0 \text{ s}$$

b.  $\Delta x = v_{\text{rata-rata}} \cdot t = (15 \text{ m/s})(3,0 \text{ s}) = 45 \text{ m}$

### Uji Kemampuan 2.6

1. Sebutir kelereng dilempar vertikal ke atas. Berapakah kecepatan awalnya jika tinggi maksimum yang dicapai adalah  $12 \text{ m}$ ?
2. Doni melempar sebuah bola dengan arah lemparan vertikal ke atas. Jika kecepatan awalnya sebesar  $18 \text{ m/s}$  dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan ketinggian bola setelah:
  - a.  $3 \text{ s}$ ,
  - b.  $5 \text{ s}$ !
3. Sebuah bola kasti dilemparkan lurus ke atas dari permukaan Bumi dengan laju awal  $35 \text{ m/s}$ . Hitunglah:
  - a. ketinggian maksimum yang dapat dicapai bola,
  - b. waktu yang dibutuhkan untuk mencapai ketinggian tersebut,
  - c. kecepatannya setelah  $30 \text{ detik}$  bola dilemparkan!

4. Sebuah batu dilemparkan lurus ke atas dengan laju 20 m/s. Batu tersebut ditangkap saat sedang bergerak turun pada ketinggian 5,0 m di atas posisi awal lemparan.
  - a. Berapa besar kecepatan batu tersebut ketika ditangkap?
  - b. Berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk proses tersebut?
5. Sebuah batu dilemparkan lurus ke atas hingga mencapai ketinggian 20 m. Dengan laju berapakah batu tersebut dilemparkan?

## Percikan Fisika



### Jalur Terbang Menurut Aristoteles

Menurut Aristoteles, semua proyektil memiliki jalur yang terdiri atas dua garis lurus, seperti yang terlihat dalam gambar cetakan dari tahun 1561 di samping. Di sini sebutir peluru ditunjukkan sedang bergerak dalam garis lurus dari meriam dan kemudian jatuh lurus ke bawah. Aristoteles berpikir bahwa sebuah benda hanya dapat melakukan satu gerak saja sekaligus.

## Fiesta

*Fisikawan Kita*



### Albert Einstein (1879-1955)

Einstein adalah seorang ahli fisika Amerika Serikat, kelahiran Jerman. Ia dikenal dengan teori relativitas. Teori ini menyangkut gerak benda dalam medan gravitasi, yaitu interaksi oleh massa. Einstein juga mengemukakan teori relativitas umum. Dalam teori ini, ia berpendapat bahwa gravitasi bukanlah suatu daya seperti yang diungkapkan oleh Newton, tetapi merupakan suatu bidang melengkung dalam kesatuan ruang dan waktu yang tercipta karena adanya massa. Ia menyatakan bahwa hal ini dibuktikan dengan mengukur pembelokan cahaya bintang pada saat bintang tersebut bergerak mendekati Matahari.

## Kilas Balik

- ✱ Gerak merupakan perubahan posisi (kedudukan) suatu benda terhadap sebuah acuan tertentu.
- ✱ Kedudukan diartikan sebagai letak (posisi) suatu benda pada waktu tertentu terhadap acuan.
- ✱ “Kelajuan” atau “laju” menyatakan seberapa jauh sebuah benda bergerak dalam selang waktu tertentu.
- ✱ Kecepatan sesaat adalah kecepatan rata-rata pada selang waktu yang sangat pendek.
- ✱ Percepatan merupakan perubahan kecepatan pada satuan waktu tertentu.
- ✱ Percepatan rata-rata didefinisikan sebagai perubahan kecepatan dibagi waktu yang diperlukan untuk perubahan ini.
- ✱ Suatu benda dikatakan mengalami gerak lurus beraturan jika lintasan yang ditempuh oleh benda itu berupa garis lurus dan kecepatannya selalu tetap setiap saat.
- ✱ Pada saat percepatan konstan dan gerak melalui garis lurus disebut gerak lurus berubah beraturan (GLBB).

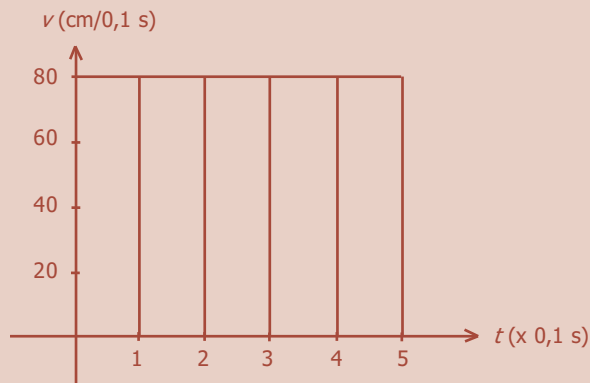
## Uji Kompetensi

### A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Sebuah benda bergerak lurus 50 m ke arah Timur dalam waktu 60 sekon, lalu 30 m ke arah Barat dalam waktu 40 sekon. Laju dan kecepatan partikel itu selama waktu itu adalah ... .
  - a. 0,8 m/s dan 0,2 m/s ke arah Timur
  - b. 0,8 m/s dan 0,2 m/s ke arah Barat
  - c. 0,8 m/s dan 0,4 m/s ke arah Timur
  - d. 0,8 m/s dan 0,4 m/s ke arah Barat
  - e. 0,4 m/s dan 0,2 m/s ke arah Timur
2. Suatu partikel bergerak lurus sepanjang sumbu  $x$  di mana posisinya dinyatakan oleh persamaan  $x = 5t^2 + 1$ , di mana  $x$  dalam meter dan  $t$  dalam sekon. Kecepatan rata-rata dalam selang waktu antara 2 s dan 3 s adalah ... .
  - a. 5 m/s
  - b. 15 m/s
  - c. 25 m/s
  - d. 40 m/s
  - e. 50 m/s

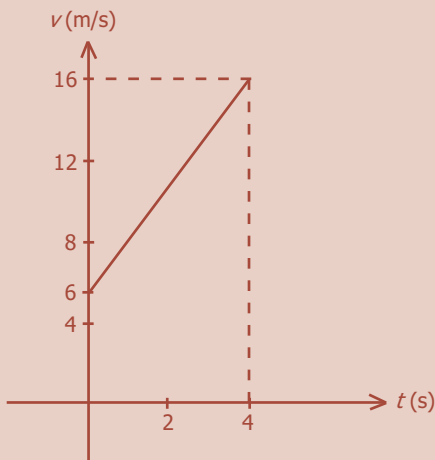


3. Diagram  $v-t$  berikut ini dibentuk oleh potongan-potongan pita (pada percobaan dengan kereta troli) yang bergerak lurus beraturan. Selama waktu 0,5 sekon, kereta troli telah menempuh jarak sejauh ... .



- a. 30 cm
- b. 40 cm
- c. 50 cm
- d. 60 cm
- e. 80 cm

4.



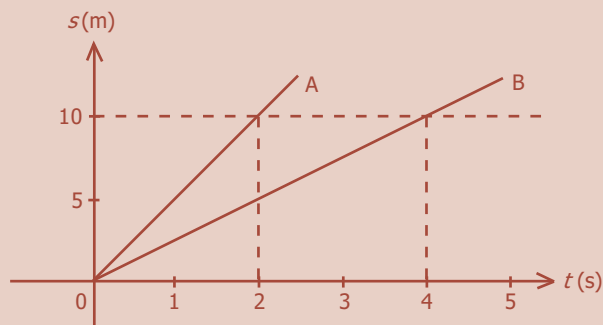
Grafik di samping merupakan grafik gerak lurus berubah beraturan. Jarak yang ditempuh benda selama 4 sekon adalah ... .

- a. 24 m
- b. 44 m
- c. 64 m
- d. 76 m
- e. 92 m

5. Sebuah mobil pada saat mulai direm kecepatannya 54 km/jam hingga mobil itu bergerak diperlambat beraturan dengan perlambatan  $25 \text{ m/s}^2$ . Jarak yang ditempuh mobil mulai direm hingga berhenti adalah ... .

- a. 4,0 m
- b. 4,5 m
- c. 5,0 m
- d. 5,5 m
- e. 6,0 m

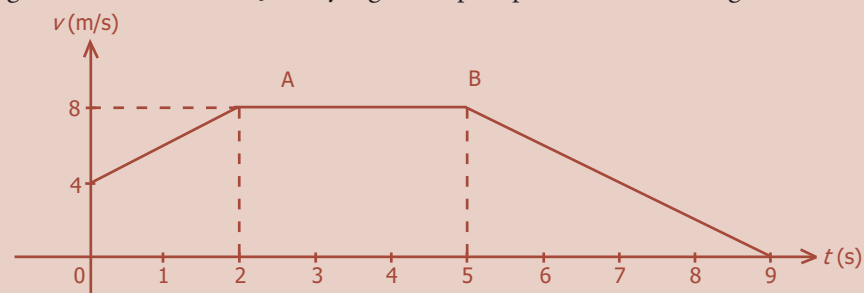
6.



Dua buah partikel A dan B mula-mula berimpit, kemudian bergerak sepanjang garis lurus yang sama dan searah serta berangkat bersama-sama dan dinyatakan seperti pada grafik  $s-t$  di atas. Setelah bergerak tepat 4 s, maka partikel B akan ketinggalan terhadap A sejauh ... .

- 6 m
- 8 m
- 10 m
- 12 m
- 14 m

7. Sebuah partikel bergerak menurut garis lurus yang dinyatakan seperti pada grafik  $v-t$  berikut ini. Jarak yang ditempuh partikel selama bergerak adalah ...



- 48 m
- 50 m
- 52 m
- 53 m
- 56 m

8. Sebuah benda berada pada ketinggian 122,5 m di atas permukaan tanah kemudian mengalami jatuh bebas ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ). Kecepatan benda saat tepat menyentuh tanah adalah ... .

- 28 m/s
- 49 m/s
- 54 m/s
- 63 m/s
- 98 m/s

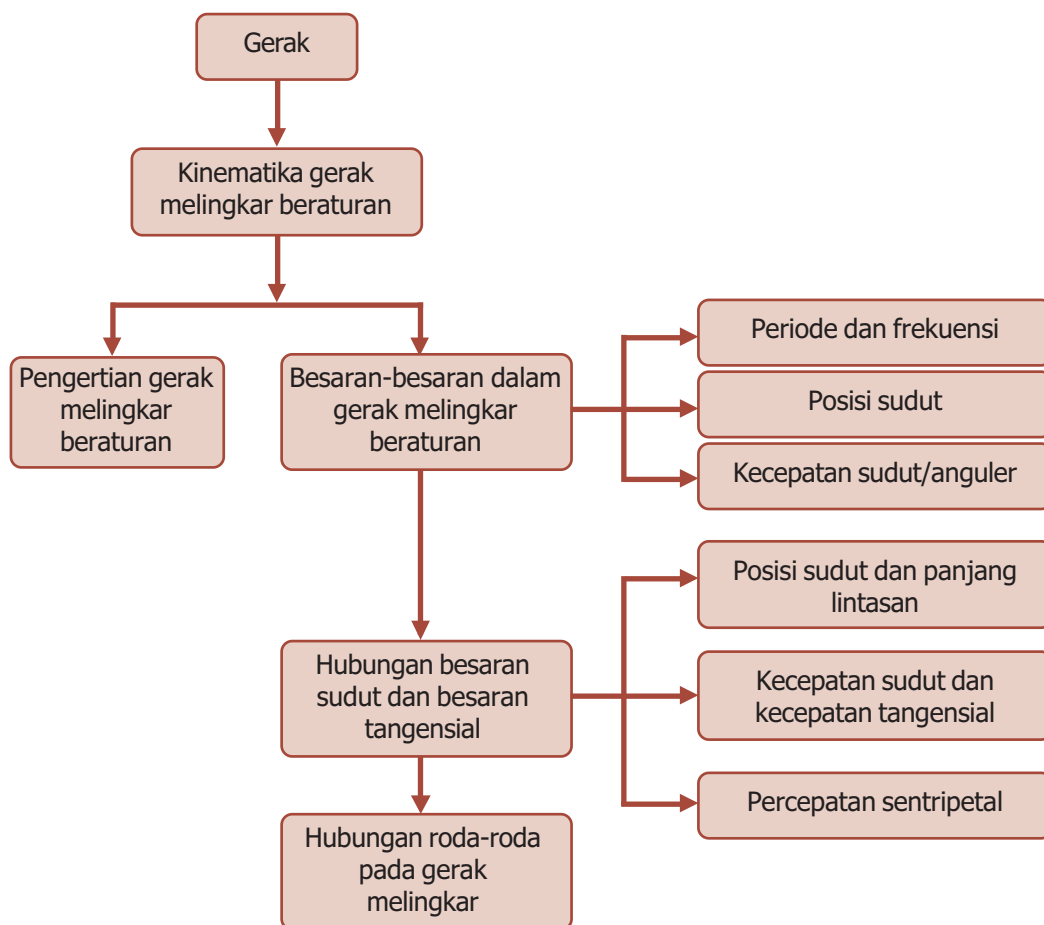
9. Sebuah peluru ditembakkan vertikal ke atas dari permukaan tanah dengan kecepatan awal 80 m/s ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ). Maka lamanya peluru di udara, tinggi maksimum yang dicapai peluru, dan kecepatan peluru tepat jatuh menyentuh tanah masing-masing adalah ... .
- 16 s, 320 m, dan 80 m/s
  - 16 s, 640 m, dan 80 m/s
  - 18 s, 320 m, dan 80 m/s
  - 18 s, 640 m, dan 80 m/s
  - 20 s, 640 m, dan 120 m/s
10. Sebuah benda dilempar vertikal ke atas. Selama gerak ke atas maka pada benda akan berlaku ... .
- percepatan berkurang
  - kecepatan konstan
  - percepatan konstan
  - percepatan bertambah
  - kecepatan bertambah

**B. Jawablah dengan singkat dan benar!**

1. Suatu rangkaian kereta api bergerak dengan kecepatan tetap 72 km/jam ketika melewati jembatan. Ternyata waktu yang diperlukan kereta untuk melintasi jembatan adalah 18 sekon. Jika panjang jembatan 180 m, berapa panjang deretan kereta api itu?
2. Sebuah mobil bergerak dari keadaan diam. Setelah 90 sekon, besar kecepatannya mencapai 72 km/jam. Berapa percepatan yang dialami mobil tersebut?
3. Sebuah mobil direm hingga mengalami perlambatan tetap  $1 \text{ m/s}^2$  dari 30 m/s hingga berhenti. Hitunglah:
  - a. waktu yang diperlukan saat mobil mulai direm hingga berhenti,
  - b. jarak yang ditempuh mobil mulai direm hingga berhenti!
4. Sebuah benda dilepaskan dari ketinggian 20 m di atas tanah ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ). Pada saat 1 s setelah pelepasan, tentukan:
  - a. kecepatan benda,
  - b. ketinggian bola di atas tanah!
5. Seorang anak melemparkan batu vertikal ke atas dengan kecepatan 40 m/s dan percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ . Saat 2 sekon setelah dilemparkan, tentukan:
  - a. kecepatan benda,
  - b. ketinggian bola di atas tanah!

# PETA KONSEP

## Bab 3 Gerak Melingkar Beraturan



# **BAB**

## **3**

## **GERAK MELINGKAR BERATURAN**



- Kincir raksasa melakukan gerak melingkar.

Sumber: *Kompas*, 20 Juli 2006

Berdasarkan lintasannya, benda bergerak dibedakan menjadi tiga yaitu benda bergerak pada garis lurus, gerak parabola, dan benda bergerak pada garis melingkar. Perhatikan gambar di atas. Sebuah kincir raksasa yang sedang bergerak, lintasannya berbentuk lingkaran karena benda ini bergerak melingkar. Coba carilah benda apalagi yang lintasannya berbentuk lingkaran!

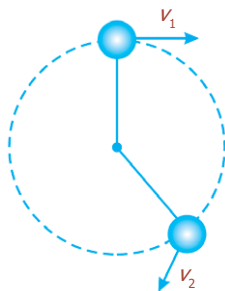
## Kata Kunci

gerak melingkar,  
kecepatan angular,  
kecepatan sudut,  
posisi sudut

Sebuah benda bergerak pada garis lurus jika gaya total yang ada padanya bekerja pada arah gerak benda tersebut, atau sama dengan nol. Jika gaya total bekerja dengan membentuk suatu sudut terhadap arah gerak pada setiap saat, benda akan bergerak dalam lintasan yang membentuk kurva. Sebagai contoh gerak roda dan gerak bola di ujung tali yang diputar.



### A. Pengertian Gerak Melingkar Beraturan



**Gambar 3.1** Sebuah benda bergerak membentuk suatu lingkaran.

Gerak melingkar beraturan adalah gerak yang lintasannya berbentuk lingkaran dengan laju konstan dan arah kecepatan tegak lurus terhadap arah percepatan. Arah kecepatan terus berubah sementara benda bergerak dalam lingkaran tersebut, tampak seperti pada Gambar 3.1. Oleh karena percepatan didefinisikan sebagai besar perubahan kecepatan, perubahan arah kecepatan menyebabkan percepatan sebagaimana juga perubahan besar kecepatan. Dengan demikian, benda yang mengelilingi sebuah lingkaran terus dipercepat, bahkan ketika lajunya tetap konstan ( $v_1 = v_2 = v$ ).



### B. Besaran-Besaran dalam Gerak Melingkar



Sumber: Dokumen Penerbit, 2006

**Gambar 3.2** Ujung jarum yang bergerak melingkar akan selalu berulang pada titik tertentu.

#### 1. Periode dan Frekuensi

Sebuah partikel/benda yang bergerak melingkar baik gerak melingkar beraturan ataupun yang tidak beraturan, gerakannya akan selalu berulang pada suatu saat tertentu. Dengan memerhatikan sebuah titik pada lintasan gerakannya, sebuah partikel yang telah melakukan satu putaran penuh akan kembali atau melewati posisi semula. Gerak melingkar sering dideskripsikan dalam **frekuensi** ( $f$ ), yaitu jumlah putaran tiap satuan waktu atau jumlah putaran per sekon. Sementara itu, **periode** ( $T$ ) adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran.

Hubungan antara periode ( $T$ ) dan frekuensi ( $f$ ) adalah:

$$T = \frac{1}{f} \text{ atau } f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (3,1)$$

dengan:

$T$  = periode (s)                       $f$  = frekuensi (Hz)

Sebagai contoh, jika sebuah benda berputar dengan frekuensi 3 putaran/sekon, maka untuk melakukan satu putaran penuh, benda itu memerlukan waktu 1/3 sekon. Untuk benda yang berputar membentuk lingkaran dengan laju konstan  $v$ , dapat kita tuliskan:

$$v = \frac{2\pi R}{T} \dots\dots\dots (3.2)$$

Hal ini disebabkan dalam satu putaran, benda tersebut menempuh satu keliling lingkaran ( $= 2\pi R$ ).

## 2. Posisi Sudut $\theta$

Gambar 3.3 melukiskan sebuah titik P yang berputar terhadap sumbu yang tegak lurus terhadap bidang gambar melalui titik O. Titik P bergerak dari A ke B dalam selang waktu  $t$ . Posisi titik P dapat dilihat dari besarnya sudut yang ditempuh, yaitu  $\theta$  yang dibentuk oleh garis AB terhadap sumbu  $x$  yang melalui titik O. Posisi sudut  $\theta$  diberi satuan radian (rad). Besar sudut satu putaran adalah  $360^\circ = 2\pi$  radian.

Jika  $\theta$  adalah sudut pusat lingkaran yang panjang busurnya  $s$  dan jari-jarinya  $R$ , diperoleh hubungan:

$$\theta = \frac{s}{R} \dots\dots\dots (3.3)$$

dengan:

$\theta$  = lintasan/posisi sudut (rad)

$s$  = busur lintasan (m)

$R$  = jari-jari (m)

## 3. Kecepatan Sudut/Kecepatan Anguler

Dalam gerak melingkar beraturan, kecepatan sudut atau kecepatan anguler untuk selang waktu yang sama selalu konstan. Kecepatan sudut didefinisikan sebagai besar sudut yang ditempuh tiap satu satuan waktu. Untuk partikel yang melakukan gerak satu kali putaran, didapatkan sudut yang ditempuh  $\theta = 2\pi$  dan waktu tempuh  $t = T$ . Berarti, kecepatan sudut ( $\omega$ ) pada gerak melingkar beraturan dapat dirumuskan:

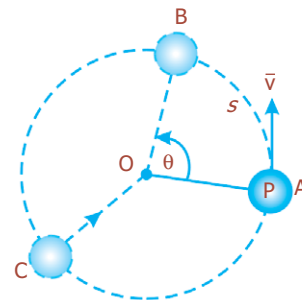
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ atau } \omega = 2\pi f \dots\dots\dots (3.4)$$

dengan:

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

$T$  = periode (s)

$f$  = frekuensi (Hz)



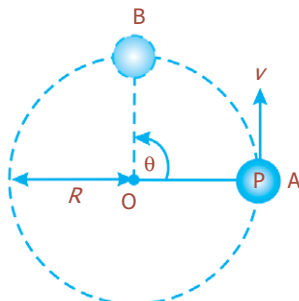
**Gambar 3.3** Titik P berotasi dengan sumbu di O.



Satuan kecepatan sudut  $\omega$  adalah putaran/sekon atau rad/sekon, di mana untuk 1 putaran/sekon setara dengan  $2\pi$  (rad/sekon).



## Hubungan Besaran-Besaran Sudut dan Besaran-Besaran Tangensial

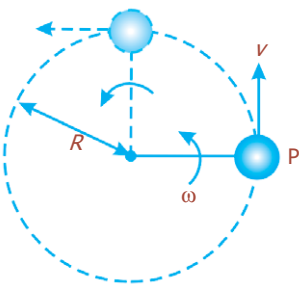


**Gambar 3.4** Titik P berotasi dengan sumbu tetap O dan jari-jari  $R$ .



Sumber: *Jawa Pos*, 14 Juli 2006

**Gambar 3.5** Semakin cepat sepeda dikayuh maka kecepatan sudut dan kecepatan tangensialnya bertambah.



**Gambar 3.6** Kecepatan sudut  $\omega$  tegak lurus bidang lingkaran.

### 1. Posisi Sudut $\theta$ dan Panjang Lintasan $s$

Gambar 3.4 menunjukkan titik P bergerak melingkar dengan sumbu tetap O dan jari-jari  $R$ . Jika P bergerak dari A ke B dengan menempuh lintasan busur sejauh  $s$ , sedangkan posisi sudut yang terbentuk adalah  $\theta$ , maka diperoleh hubungan:

$$\theta = \frac{s}{R} \quad (3.5)$$

dengan:

$\theta$  = lintasan/posisi sudut (rad)

$s$  = busur lintasan (m)

$R$  = jari-jari (m)

### 2. Kecepatan Sudut $\omega$ dan Kecepatan Tangensial/Linier $v$

Jika posisi sudut sangat kecil, yaitu  $\Delta\theta$ , karena selang waktu ( $\Delta t$ ) yang digunakan sangat kecil, lintasan busurnya juga sangat kecil, yaitu  $\Delta s$ , sehingga persamaan (3.5) berubah menjadi:

$$\Delta s = \Delta\theta \cdot R$$

Jika persamaan tersebut dibagi dengan selang waktu  $\Delta t$ , diperoleh:

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\Delta\theta \cdot R}{\Delta t}$$

Jika  $\Delta t$  kecil maka persamaan tersebut menjadi:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{d\theta \cdot R}{dt}$$

$$v = \omega \cdot R \quad (3.6)$$

dengan:

$v$  = kecepatan linier (m/s)

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

$R$  = jari-jari lintasan (m)

Kecepatan linier/tangensial ( $v$ ) memiliki arah berupa arah garis singgung lingkaran pada titik-titik, salah satunya titik P. Sementara itu, kecepatan sudut  $\omega$  memiliki arah ke atas, tegak lurus bidang lingkaran, tampak seperti pada Gambar 3.6.



### Contoh Soal

Sebuah benda bergerak melingkar beraturan dengan jari-jari 3 m. Dalam waktu 5 sekon, benda tersebut mampu menempuh 20 putaran. Tentukan:

- periode,
- frekuensi,
- kecepatan sudut,
- kelajuan linier!

*Penyelesaian:*

Jari-jari  $R = 3$  m, waktu  $t = 5$  s,  $n = 20$  putaran

$$\begin{aligned}\text{a. Periode } (T) &= \frac{t}{n} \\ &= \frac{5 \text{ s}}{20 \text{ putaran}} \\ &= \frac{1}{4} \text{ sekon}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{c. Kecepatan sudut } (\omega) &= \frac{2\pi}{T} \\ &= \frac{2\pi}{\frac{1}{4}} \\ &= 8\pi \text{ rad}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{b. Frekuensi } (f) &= \frac{n}{t} \\ &= \frac{20 \text{ putaran}}{5 \text{ s}} \\ &= 4 \text{ Hz}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{d. Kecepatan linier } (v) &= \omega \cdot R \\ &= (8\pi)(3) \\ &= 24\pi \text{ m/s}\end{aligned}$$

### Uji Kemampuan 3.1

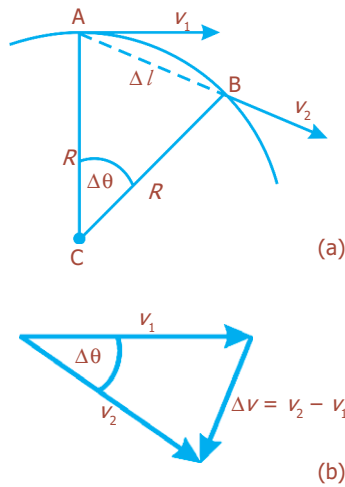
- Sebuah roda berdiameter 40 cm, berputar pada 180 rpm (rotasi per menit). Hitunglah: (a) frekuensinya, (b) periode, (c) kecepatan sudut, (d) kelajuan linier!
- Sebuah benda yang memiliki jari-jari 16 cm bergerak melingkar beraturan. Jika kelajuan liniernya 2,4 m/s, berapakah kecepatan sudut dan frekuensi putarannya?

## 3. Percepatan Sentripetal ( $a_s$ )

Percepatan yang selalu mengarah ke pusat lingkaran disebut percepatan sentripetal ( $a_s$ ), dirumuskan:

$$a_s = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Di mana,  $\Delta v$  adalah perubahan kecepatan dalam selang waktu  $\Delta t$  yang pendek. Pada akhirnya, kita akan mempertimbangkan situasi di mana  $\Delta t$  mendekati nol, sehingga akan diperoleh percepatan sesaat. Pada Gambar 3.7(a), selama selang waktu  $\Delta t$ , partikel bergerak dari titik A ke titik B dengan menempuh jarak  $\Delta l$  menelusuri busur yang membuat sudut  $\Delta\theta$ . Perubahan vektor kecepatan adalah  $v_2 - v_1 = \Delta v$ , yang ditunjukkan pada Gambar 3.7(b).



**Gambar 3.7** Menentukan perubahan kecepatan pada gerak melingkar beraturan.

Jika kita tentukan  $\Delta t$  sangat kecil (mendekati nol), maka  $\Delta l$  dan  $\Delta \theta$  juga sangat kecil dan  $v_2$  hampir paralel dengan  $v_1$ , dan  $\Delta v$  akan tegak lurus terhadap keduanya. Dengan demikian  $\Delta v$  menuju ke arah pusat lingkaran. Karena  $a$ , menurut definisi di atas mempunyai arah yang sama dengan  $\Delta v$ ,  $a$  juga harus menunjuk ke arah pusat lingkaran. Dengan demikian, percepatan ini disebut percepatan sentripetal (percepatan “yang mencari pusat”) atau percepatan radial (karena mempunyai arah sepanjang radius, menuju pusat lingkaran), dan diberi notasi  $a_s$ .

Bagaimana cara menentukan percepatan sentripetal ( $a_s$ )? Karena CA tegak lurus terhadap  $v_1$ , dan CB tegak lurus  $v_2$ , berarti  $\Delta \theta$  yang didefinisikan sebagai sudut antara CA dan CB, juga merupakan sudut antara  $v_1$  dan  $v_2$ . Dengan demikian, vektor  $v_2$ ,  $v_1$ , dan  $\Delta v$ , tampak seperti pada Gambar 3.7(b), membentuk segitiga yang sama secara geometris dengan segitiga ABC pada Gambar 3.7(a). Dengan mengambil  $\Delta \theta$  yang kecil (dengan memakai  $\Delta t$  sangat kecil) dapat dituliskan:

$$\frac{\Delta v}{v} \approx \frac{\Delta l}{R}$$

Kita telah menentukan  $v = v_1 = v_2$ , karena besar kecepatan dianggap tidak berubah. Persamaan tersebut tepat jika  $\Delta t$  mendekati nol, karena dengan demikian panjang busur  $\Delta l$  sama dengan panjang tali busur AB. Untuk memperoleh percepatan sesaat, di mana  $\Delta t$  mendekati nol, kita tuliskan persamaan di atas dalam bentuk:

$$\Delta v = \frac{v}{R} \Delta l$$

Untuk mendapatkan percepatan sentripetal  $a_s$ , kita bagi  $\Delta v$  dengan  $\Delta t$ :

$$a_s = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{R} \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

dan karena  $\frac{\Delta l}{\Delta t}$  adalah laju linier ‘ $v$ ’ dari benda itu, maka:

$$a_s = \frac{v^2}{R} \dots\dots\dots (3.7)$$

dengan:

$a_s$  = percepatan sentripetal ( $\text{m/s}^2$ )

$v$  = kecepatan linier ( $\text{m/s}$ )

$R$  = jari-jari lintasan ( $\text{m}$ )

**Komet**  
Kolom mengingat

Berikut ini beberapa rumus penting:

$$f = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{f}$$

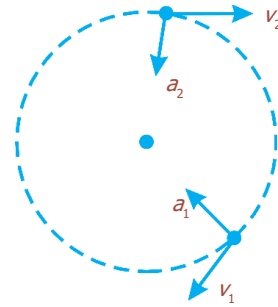
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \omega = 2\pi f$$

$$v = \omega R$$

$$a_s = \frac{v^2}{R}$$

Berdasarkan persamaan (3.7), dapat disimpulkan bahwa percepatan sentripetal tergantung pada  $v$  dan  $R$ . Untuk laju  $v$  yang lebih besar, semakin cepat pula kecepatan berubah arah; dan semakin besar radius  $R$ , makin lambat kecepatan berubah arah.

Vektor percepatan menuju ke arah pusat lingkaran, tetapi vektor kecepatan selalu menunjuk ke arah gerak yang tangensial terhadap lingkaran. Dengan demikian, vektor kecepatan dan percepatan tegak lurus satu sama lain pada setiap titik di jalurnya untuk gerak melingkar beraturan, seperti terlihat pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8** Untuk gerak melingkar beraturan,  $a$  selalu tegak lurus terhadap  $v$ .

### Contoh Soal

Sebuah bola bermassa 60 gram diikat dengan seutas tali yang panjangnya 1 meter, kemudian diputar horizontal. Dalam waktu 20 sekon terjadi 50 putaran. Berapakah: (a) kelajuan linier, (b) percepatan sentripetal, (c) tegangan tali?

*Penyelesaian:*

Massa bola  $m = 60 \text{ gram} = 0,06 \text{ kg}$ , jari-jari  $R = 1 \text{ m}$ , sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Periode } (T) &= \frac{20 \text{ sekon}}{50 \text{ putaran}} \\ &= 0,4 \text{ s} \end{aligned}$$

a. Kelajuan linier

$$\rightarrow v = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2\pi(1 \text{ m})}{0,4 \text{ s}} = 5\pi \text{ m/s}$$

b. Percepatan sentripetal

$$\rightarrow a_s = \frac{v^2}{R} = \frac{(5\pi \text{ m/s})^2}{1 \text{ m}} = 25\pi^2 \text{ m/s}^2$$

c. Tegangan tali = gaya sentripetal

$$\rightarrow F_s = m \cdot a_s = 0,06 \text{ kg} \times 25\pi^2 \text{ m/s}^2 = 1,5\pi^2 \text{ N}$$

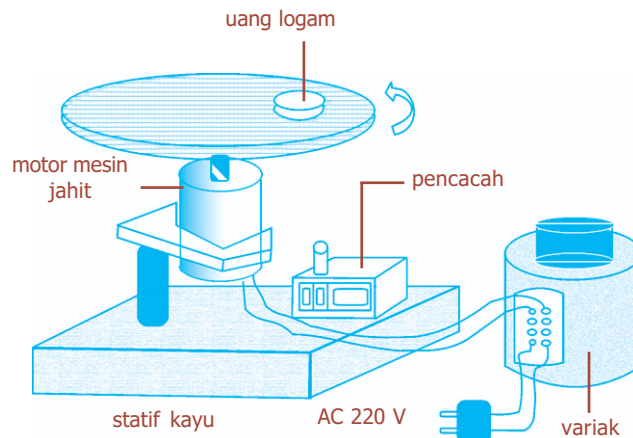
### Uji Kemampuan 3.2

1. Sebuah benda bermassa 80 gram bergerak melingkar beraturan pada kelajuan linier 1,5 m/s dengan diameter lintasan 200 cm. Berapakah gaya sentripetal benda tersebut?
2. Sebuah elektron pada atom hidrogen bergerak pada suatu lintasan melingkar dengan jari-jari  $0,45\text{\AA}$ . Elektron mengalami gaya tarik ke pusat lintasan sebesar  $2 \times 10^{-7} \text{ N}$ . Berapakah kelajuan elektron tersebut, jika massa elektron  $9 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ?

## Kegiatan

- Tujuan : Mengamati pengaruh gaya sentripetal terhadap benda yang bergerak melingkar beraturan.
- Alat dan bahan : Satu set alat peraga gerak melingkar (tampak seperti pada gambar), variak (sumber tegangan arus listrik), stopwatch, benda/koin.

### Cara Kerja:



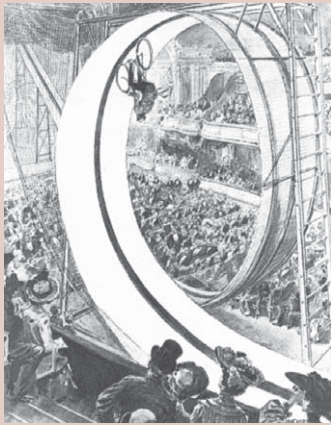
1. Letakkan benda dalam wujud koin di bagian dalam lempeng melingkar yang dapat berotasi pada sumbunya.
2. Pasang variak pada posisi *on*, dan atur beban sampai berputar stabil dengan kecepatan tertentu (mulai kecepatan rendah).
3. Catat data angka perputaran pada pencacah, sementara itu nyalakan stopwatch.
4. Perhatikan (catat) posisi koin terhadap as/poros rotasi pada setiap perubahan kondisi kecepatan.
5. Catat kecepatan sudut putaran ketika koin meninggalkan tempatnya.
6. Timbanglah koin, dan masukkan semua data pengamatan pada tabel berikut ini.

$N_{aw}$	$N_{ak}$	$N$	$t$ (s)	$\omega$ (rad/s)	Posisi koin (m)	$m$ (kg)	$\omega$ ketika koin loncat

### Diskusi:

1. Apa yang dapat kalian simpulkan dari kegiatan tersebut?
2. Adakah hubungan antara besarnya gaya sentripetal dengan kecepatan sudut? Jelaskan!

## Percikan Fisika



### Naik dan Mengitari Lintasan Putar

Ketika pengendara sepeda maut mengitari gulungan lintasan maut, tekanan lintasan terhadap ban sepedanya menyebabkan timbulnya gaya sentripetal yang menariknya mengelilingi lintasan yang melingkar itu. Ketika ia berada di bagian atas lintasan, gravitasi bumi menariknya ke bawah. Namun, kecenderungannya untuk bergerak mengikuti garis lurus (yang disebut gaya sentrifugal) membuat sepedanya tertekan ke luar menimpa lintasan. Untuk menempuh lintasan putar dengan aman sepeda harus mempunyai kecepatan tinggi. Oleh karena itu, diperlukan lintasan menurun yang panjang agar sepeda makin lama makin cepat.



### Hubungan Roda-Roda pada Gerak Melingkar

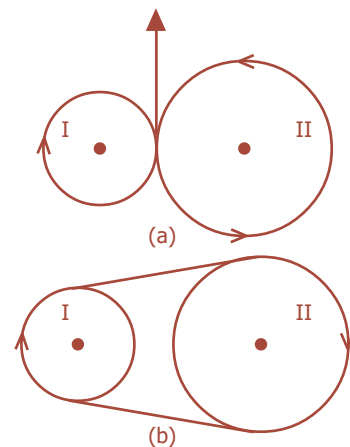
Gerak melingkar dapat dipindahkan dari sebuah benda berbentuk lingkaran ke benda lain yang juga berbentuk lingkaran, misalnya antara gir dengan roda pada sepeda, gir pada mesin-mesin kendaraan bermotor, dan sebagainya. Hubungan roda-roda pada gerak melingkar dapat berupa sistem langsung yaitu dengan memakai roda-roda gigi atau roda-roda gesek, atau sistem tak langsung, yaitu dengan memakai streng/rantai/pita.

Pada Gambar 3.9 menunjukkan roda I berputar atau bergerak melingkar beraturan hingga roda II mengikutinya bergerak melingkar beraturan. Hubungan roda-roda pada gerak melingkar, baik memakai sistem langsung atau tak langsung, kecepatan linier ( $v$ ) roda tersebut baik roda I dan II adalah sama, tetapi kecepatan sudutnya ( $\omega$ ) berlainan. Dengan demikian dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} v_1 &= v_2 \\ \omega_1 \cdot R_1 &= \omega_2 \cdot R_2 \dots\dots\dots (3.8) \end{aligned}$$

dengan:

- $v_1$  = kecepatan linier roda I (m/s)
- $v_2$  = kecepatan linier roda II (m/s)
- $\omega_1$  = kecepatan sudut roda I (rad/s)
- $\omega_2$  = kecepatan sudut roda II (rad/s)
- $R_1$  = jari-jari roda I (m)
- $R_2$  = jari-jari roda II (m)



**Gambar 3.9** Hubungan roda-roda, (a) sistem langsung, dan (b) sistem tak langsung.

### Contoh Soal

1. Dua buah roda sebuah sepeda motor mempunyai jari-jari 20 cm. Sepeda motor tersebut bergerak dengan kelajuan 90 km/jam.
  - a. Berapakah kecepatan sudut roda sepeda motor tersebut?
  - b. Berapakah kelajuannya, jika roda diganti roda lain yang berdiameter 80 cm?

*Penyelesaian:*

Dalam kasus ini ditinjau dari satu roda saja.

- a. Jari-jari roda  $R_1 = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$   
Kelajuan linier,  $v_1 = 90 \text{ km/jam}$   
 $= 25 \text{ m/s}$

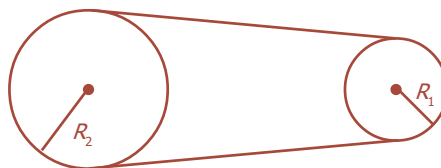
$$\text{Kecepatan sudut, } \omega_1 = \frac{v_1}{R_1} = \frac{25 \text{ m/s}}{0,2 \text{ m}} = 125 \text{ rad/s}$$

- b. Jari-jari roda diganti,  $R_2 = \frac{d}{2} = \frac{80 \text{ cm}}{2} = 40 \text{ cm}$ , dengan kecepatan sudut yang sama,  $\omega_1 = \omega_2 = 125 \text{ rad/s}$ , kelajuan linier,  $v_2 = \omega_2 \cdot R_2$   
 $= (125 \text{ rad/s})(0,4 \text{ m}) = 50 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} v_2 &= 50 \times \frac{\frac{1}{1.000} \text{ km}}{\frac{1}{3.600} \text{ jam}} \\ &= 50 \times \frac{3.600 \text{ km}}{1.000 \text{ jam}} \\ &= 180 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

2. Dua buah roda dihubungkan dengan rantai. Roda yang lebih kecil dengan jari-jari 8 cm diputar pada 100 rad/s. Berapakah kelajuan linier kedua roda tersebut? Jika jari-jari roda yang lebih besar 15 cm, berapa rpm roda tersebut akan berputar?

*Penyelesaian:*



$$\begin{aligned} R_1 &= 8 \text{ cm} \\ &= 0,08 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_2 &= 15 \text{ cm} \\ &= 0,15 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\omega_1 = 100 \text{ rad/s}$$

Dua roda yang dihubungkan memiliki kelajuan linier sama besar. Jadi, laju kedua roda tersebut adalah  $v_1 = v_2$ .

Kelajuan linier roda I

$$\begin{aligned} v_1 &= \omega_1 \cdot R_1 \\ &= (100 \text{ rad/s})(0,08 \text{ m}) \\ &= 8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Kelajuan linier roda II

$$\begin{aligned} v_2 &= v_1 \\ &= 8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$v_2 = \omega_2 \cdot R_2$$

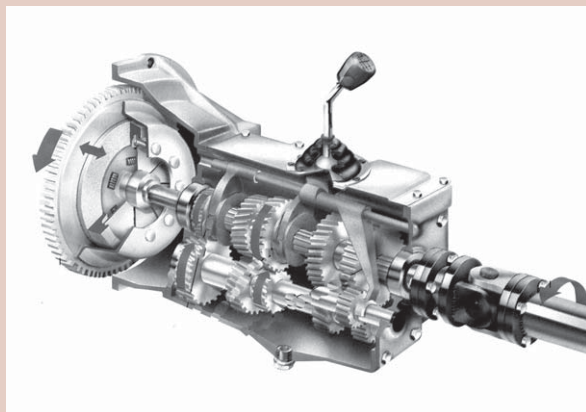
Maka kecepatan angulernya,

$$\omega_2 = \frac{v_2}{R_2}, \text{ di mana } \omega = 2\pi f$$

Banyaknya putaran yang dialami roda II merupakan frekuensi, jadi:

$$\begin{aligned} 2\pi f &= \frac{v_2}{R_2} \\ f &= \frac{v_2}{2\pi R_2} = \frac{8}{2\pi(0,15)} = \frac{8}{0,3\pi} = \frac{80}{3\pi} \text{ Hz} \\ &= \frac{80}{3\pi} \text{ putaran/sekon} \\ &= \frac{80}{3\pi} \times \frac{1 \text{ putaran}}{\frac{1}{60} \text{ menit}} \\ &= \frac{4.800}{3\pi} \text{ rpm} \\ f &= \frac{1.600}{\pi} \text{ rpm atau } 510 \text{ rpm} \end{aligned}$$

## Percikan Fisika



### Transmisi pada Mobil

Transmisi pada mobil memanfaatkan roda gigi untuk menyesuaikan kecepatan dan torsi. Untuk menanjak di lereng bukit dibutuhkan torsi besar pada laju rendah. Untuk berkendara dengan laju tinggi dibutuhkan rotasi lebih cepat dan torsi lebih kecil.

## Fiesta

Fisikawan Kita



### Galileo Galilei (1564 - 1642)

Galileo Galilei adalah seorang astronom dan ahli fisika yang berasal dari Italia. Ia menemukan teleskop astronomi, hukum benda jatuh, hukum bandul, teori matematis gerak parabola, dan termometer. Karyanya yang terkenal yaitu *Dialogo Sopra I due Massimi Sistemi del Mondo, Tolemaico e Copernicano* (Dialog tentang dua Sistem Besar Dunia menurut Otolomeus dan Copernicus) memberi dasar bagi mekanika dan perkembangan prinsip inersia yang kemudian menjadi Hukum Gerak Newton.

Galileo menyanggah pernyataan Aristoteles bahwa kecepatan benda jatuh bergantung pada berat benda. Pada tahun 1604 Galileo melakukan percobaan dengan cara menjatuhkan benda berbagai ukuran dan berat dari Menara Pisa. Benda tersebut ternyata jatuh secara bersamaan di Bumi. Ia kemudian menyimpulkan bahwa kecepatan benda jatuh adalah sama yang disebut Hukum Benda Jatuh. Galileo kemudian menurunkan lintasan parabola untuk gerak benda di bawah pengaruh gaya berat.

### Kilas Balik

- \* Sebuah benda yang bergerak membentuk suatu lingkaran dengan laju konstan dikatakan mengalami gerak melingkar beraturan.
- \* Gerak melingkar sering dideskripsikan dalam frekuensi ( $f$ ) yaitu jumlah putaran tiap satuan waktu atau jumlah putaran per sekon. Sementara itu, periode ( $T$ ) yaitu waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran.
- \* Kecepatan sudut adalah besar sudut yang ditempuh tiap satu satuan waktu.
- \* Percepatan adalah perubahan kecepatan dalam selang waktu yang pendek.
- \* Percepatan sentripetal adalah percepatan yang mencari pusat atau percepatan radial (karena mempunyai arah sepanjang radius menuju pusat lingkaran).



## Uji Kompetensi

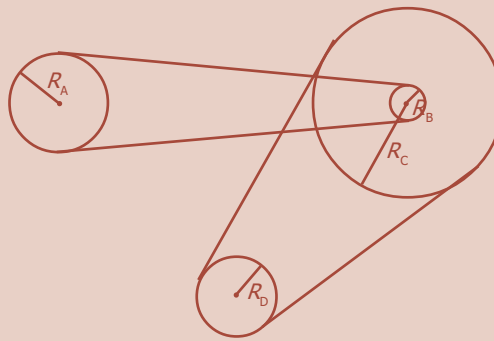
### A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Sebuah benda yang bergerak melingkar beraturan mempunyai ... .
  - a. kelajuan tetap
  - b. kecepatan tetap
  - c. percepatan tetap
  - d. sudut simpangan tetap
  - e. percepatan sudut tetap
2. Sebuah benda yang mengalami gerak melingkar beraturan, kecepatannya tergantung pada ... .
  - a. massa dan periode
  - b. massa dan frekuensi
  - c. massa dan jari-jari lintasan
  - d. periode dan jari-jari lintasan
  - e. percepatan gravitasi setempat
3. Sebuah benda mengalami gerak melingkar beraturan dengan jari-jari lintasan 1 m. Jika dalam waktu 10 s mengalami perpindahan sudut sebesar 20 putaran, maka periode gerak benda itu adalah ... .
  - a. 0,2 s
  - b. 0,5 s
  - c. 2,0 s
  - d. 5,0 s
  - e. 10,2 s
4. Sebuah roda berdiameter 1 m melakukan 120 putaran per menit. Kecepatan linier suatu titik pada roda tersebut adalah ... .
  - a.  $\frac{1}{2}\pi$  m/s
  - b.  $\pi$  m/s
  - c.  $2\pi$  m/s
  - d.  $4\pi$  m/s
  - e.  $6\pi$  m/s
5. Percepatan sentripetal dipengaruhi oleh beberapa faktor, *kecuali* ... .
  - a. laju linier
  - b. kecepatan anguler
  - c. jari-jari lintasan
  - d. massa benda
  - e. periode putarannya

6. Sebuah partikel bergerak melingkar dengan periode tetap sebesar  $\frac{1}{5}$  sekon. Maka partikel itu bergerak melingkar dengan ... .
- $\frac{1}{5}$  putaran tiap sekon, dengan laju anguler berubah
  - 5 putaran selama 5 sekon dengan laju tetap
  - 5 putaran tiap sekon dengan laju anguler tetap
  - 5 putaran tiap sekon dengan laju anguler berubah
  - 5 putaran tiap sekon setelah itu diam
7. Perbandingan kecepatan sudut jarum penunjuk jam, menit, dan detik pada jam dinding adalah ... .
- 1 : 6 : 12
  - 1 : 12 : 18
  - 1 : 12 : 36
  - 1 : 12 : 360
  - 1 : 12 : 720
8. Sebuah partikel berputar dengan 300 rpm. Jika jari-jari lintasannya 1 m, maka kelajuan linier partikel tersebut adalah ... .
- 3 m/s
  - $3\pi$  m/s
  - 10 m/s
  - $10\pi$  m/s
  - $30\pi$  m/s
9. Sebuah titik melakukan gerak melingkar beraturan. Ternyata tiap menit melakukan 600 putaran. Jika jari-jari lintasannya 20 cm, maka percepatan sentripetalnya adalah ... .
- $8\pi$  m/s<sup>2</sup>
  - $8\pi^2$  m/s<sup>2</sup>
  - $80\pi^2$  m/s<sup>2</sup>
  - $800\pi^2$  m/s<sup>2</sup>
  - $8.000\pi^2$  m/s<sup>2</sup>
10. Dua buah roda A dan B saling bersinggungan. Jika kecepatan sudut roda B sebesar 25 rad/s dan jari-jari roda A adalah  $\frac{1}{4}$  kali jari-jari roda B, maka kecepatan sudut roda A adalah ... .
- 25 rad/s
  - 50 rad/s
  - 75 rad/s
  - 100 rad/s
  - 200 rad/s

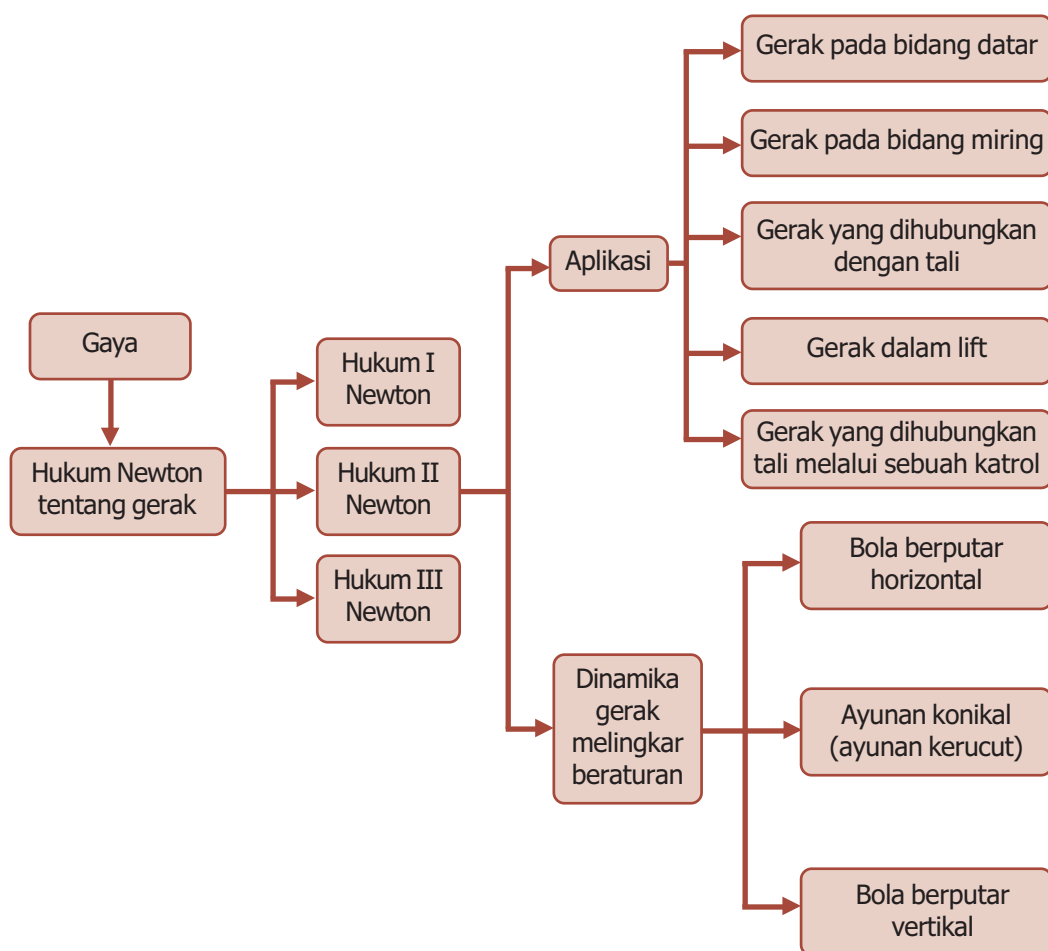
**B. Jawablah dengan singkat dan benar!**

1. Sebuah roda melakukan 120 putaran tiap menit. Tentukan:
  - a. frekuensi dan kecepatan sudut roda,
  - b. laju sebuah titik pada tepi roda bila jari-jari roda 20 cm!
2. Sebuah partikel melakukan gerak melingkar beraturan dengan kecepatan sudut 10 rad/s. Jika jari-jari lintasannya 50 cm, berapa kecepatan linier partikel itu?
3. Sebuah partikel mengalami gerak melingkar beraturan dalam suatu lintasan berbentuk lingkaran yang berjari-jari 50 cm, dengan kecepatan linier 2 m/s. Tentukan:
  - a. periode dan frekuensi putaran,
  - b. percepatan sentripetal!
4. Roda-roda dari sebuah sepeda doortrap (torpedo) berjari-jari 30 cm, sedangkan jari-jari gir depan dan belakang masing-masing 8 cm dan 3 cm. Jika gir depan berputar tetap dengan kecepatan 5 rad/s dan jumlah giginya 48 biji, tentukan:
  - a. lama orang tersebut naik sepeda tanpa istirahat setelah menempuh jarak 7,2 km,
  - b. Jumlah gigi pada gir roda belakang!
5. Empat buah roda A, B, C, dan D masing-masing berjari-jari  $R_A = 9$  cm,  $R_B = 3$  cm,  $R_C = 50$  cm, dan  $R_D = 5$  cm dihubungkan satu sama lain seperti pada gambar. Jika periode A sama dengan 2 sekon, maka tentukan:
  - a. kecepatan sudut roda C,
  - b. kecepatan linier roda D!



# PETA KONSEP

## Bab 4 Hukum Newton Tentang Gerak



## BAB

# 4

## HUKUM NEWTON TENTANG GERAK



- Sepeda motor yang bergerak terhadap bangunan pasar.

Sumber: *Dokumen Penerbit*, 2006

Setiap benda atau makhluk pasti bergerak. Benda dikatakan bergerak apabila terjadi perubahan posisi benda tersebut terhadap sebuah titik acuan. Karena bergantung pada titik acuan, maka gerak dikatakan bersifat relatif. Perhatikan gambar di atas. Sepeda motor dikatakan bergerak terhadap bangunan pasar. Hal ini karena ada perubahan jarak sepeda motor terhadap bangunan pasar. Untuk lebih memahami tentang gerak dan hukum-hukumnya ikutilah uraian berikut ini.

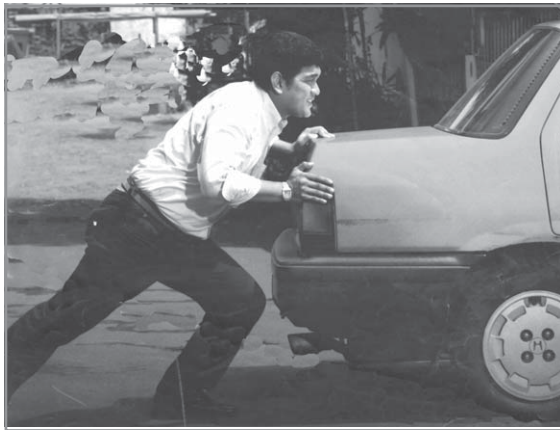
## Kata Kunci

berat, gaya,  
gaya gravitasi, gerak,  
Hukum I Newton,  
Hukum II Newton,  
Hukum III Newton

Pada bab 2 kita telah membahas gerak benda yang dinyatakan dalam kecepatan dan percepatan. Sekarang yang menjadi pertanyaan, mengapa benda-benda dapat bergerak? Apa yang membuat benda yang pada mulanya diam mulai bergerak? Apa yang mempercepat atau memperlambat benda? Apa yang terlibat ketika benda bergerak membentuk lingkaran? Kita dapat menjawab setiap pertanyaan tersebut dengan mengatakan bahwa untuk melakukan itu semua diperlukan sebuah gaya. Pada bab ini, kalian akan menyelidiki hubungan antara gaya dan gerak. Sebelum kalian mempelajari tentang dinamika ini, pertama kita akan membahas konsep gaya secara kualitatif.



### A. Pengertian Gaya



Sumber: *Tempo*, Juni 2005

**Gambar 4.1** Orang mendorong mobil artinya orang memberikan gaya pada mobil yang mogok.



Sumber: *Kamus Visual*, PT Bhuana Ilmu Populer, 2004

**Gambar 4.2** Neraca pegas yang digunakan untuk mengukur gaya.

Gaya merupakan suatu besaran yang menyebabkan benda bergerak. Ketika seseorang mendorong mobil yang mogok, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, orang tersebut memberikan gaya pada mobil itu. Pada olah raga bulu tangkis, sebuah gaya diberikan atlet pada bola sehingga menyebabkan bola berubah arah gerak. Ketika sebuah mesin mengangkat lift, atau martil memukul paku, atau angin meniup daun-daun pada sebuah pohon, berarti sebuah gaya sedang diberikan. Kita katakan bahwa sebuah benda jatuh karena gaya gravitasi. Jadi, gaya dapat menyebabkan perubahan pada benda,

yaitu perubahan bentuk, sifat gerak benda, kecepatan, dan arah gerak benda. Di sisi lain, gaya tidak selalu menyebabkan gerak. Sebagai contoh, jika kalian mendorong tembok dengan sekuat tenaga, tetapi tembok tetap tidak bergerak.

Sebuah gaya memiliki nilai dan arah, sehingga merupakan vektor yang mengikuti aturan-aturan penjumlahan vektor yang telah dibahas pada bab 1. Untuk mengukur besar atau kekuatan gaya, dapat dilakukan dengan menggunakan *neraca pegas*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



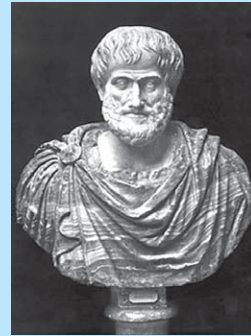
## B. Hukum I Newton

Bagaimanakah hubungan antara gaya dan gerak? Aristoteles (384-322 SM) percaya bahwa diperlukan sebuah gaya untuk menjaga agar sebuah benda tetap bergerak sepanjang bidang horizontal. Ia mengemukakan alasan bahwa untuk membuat sebuah buku bergerak melintasi meja, kita harus memberikan gaya pada buku itu secara kontinu. Menurut Aristoteles, keadaan alami sebuah benda adalah diam, dan dianggap perlu adanya gaya untuk menjaga agar benda tetap bergerak. Lebih jauh lagi, Aristoteles mengemukakan, makin besar gaya pada benda, makin besar pula lajunya.

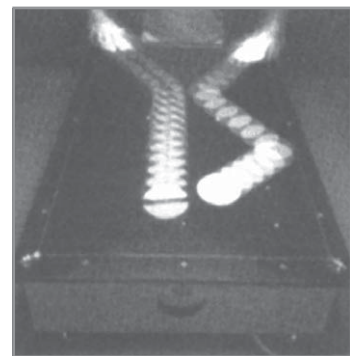
Kira-kira 2000 tahun kemudian, Galileo Galilei (1564-1642) menemukan kesimpulan yang sangat berbeda dengan pendapat Aristoteles. Galileo mempertahankan bahwa sama alaminya bagi sebuah benda untuk bergerak horizontal dengan kecepatan tetap, seperti saat benda tersebut berada dalam keadaan diam.

Bayangkan pengamatan yang melibatkan sebuah gerak horizontal berikut ini untuk memahami gagasan Galileo. Untuk mendorong sebuah benda yang mempunyai permukaan kasar di atas meja dengan laju konstan dibutuhkan gaya dengan besar tertentu. Untuk mendorong benda lain yang sama beratnya tetapi mempunyai permukaan yang licin di atas meja dengan laju yang sama, akan memerlukan gaya lebih kecil. Jika selapis minyak atau pelumas lainnya dituangkan antara permukaan benda dan meja, maka hampir tidak diperlukan gaya sama sekali untuk menggerakkan benda itu. Pada urutan kasus tersebut, gaya yang diperlukan makin kecil. Sebagai langkah berikutnya, kita bisa membayangkan sebuah situasi di mana benda tersebut tidak bersentuhan dengan meja sama sekali, atau ada pelumas yang sempurna antara benda itu dan meja, dan mengemukakan teori bahwa sekali bergerak, benda tersebut akan melintasi meja dengan laju yang konstan tanpa ada gaya yang diberikan. Sebuah bantalan peluru baja yang bergulir pada permukaan horizontal yang keras mendekati situasi ini. Demikian juga kepingan pada meja udara, tampak seperti pada Gambar 4.3, di mana lapisan udara memperkecil gesekan sehingga hampir nol.

**BETA<sup>β</sup>** Berita Fisika



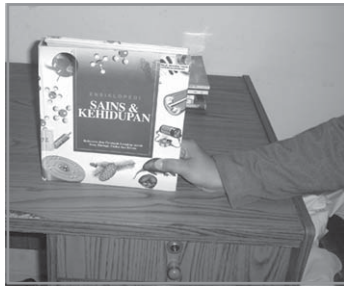
Aristoteles adalah filsuf, pengajar, ilmuwan Yunani Kuno. Ia mengemukakan bahwa makin besar gaya pada benda, makin besar pula lajunya.



Sumber: *Fisika Jilid 1*, Erlangga, 2001

**Gambar 4.3** Foto sebuah meja udara.





Sumber: Dokumen Penerbit, 2006

**Gambar 4.4** Gaya dorong dari tangan diimbangi gaya gesek dengan permukaan meja.



Sumber: Encarta Encyclopedia, 2006

**Gambar 4.5** Isaac Newton (1642-1727) merumuskan Hukum Gerak Newton.

Galileo membuat kesimpulan hebatnya, bahwa jika tidak ada gaya yang diberikan kepada benda yang bergerak, benda itu akan terus bergerak dengan laju konstan pada lintasan yang lurus. Sebuah benda melambat hanya jika ada gaya yang diberikan kepadanya. Dengan demikian, Galileo menganggap gesekan sebagai gaya yang sama dengan dorongan atau tarikan biasa.

Sebagai contoh, mendorong sebuah buku melintasi meja dengan laju tetap dibutuhkan gaya dari tangan kalian, hanya untuk mengimbangi gaya gesek. Perhatikan Gambar 4.4. Jika buku tersebut bergerak dengan laju konstan, gaya dorong kalian sama besarnya dengan gaya gesek, tetapi kedua gaya ini memiliki arah yang berbeda, sehingga gaya total pada benda (jumlah vektor dari kedua gaya) adalah nol. Hal ini sejalan dengan sudut pandang Galileo, karena benda bergerak dengan laju konstan ketika tidak ada gaya total yang diberikan padanya.

Berdasarkan penemuan ini, Isaac Newton (1642-1727), membangun teori geraknya yang terkenal. Analisis Newton tentang gerak dirangkum dalam “tiga hukum gerak”-nya yang terkenal. Dalam karya besarnya, *Principia* (diterbitkan tahun 1687), Newton menyatakan terima kasihnya kepada Galileo. Pada kenyataannya, hukum pertama Newton tentang gerak sangat dekat dengan kesimpulan Galileo. Hukum I Newton menyatakan bahwa: *Setiap benda tetap berada dalam keadaan diam atau bergerak dengan laju tetap sepanjang garis lurus, kecuali jika diberi gaya total yang tidak nol.*

Kecenderungan sebuah benda untuk mempertahankan keadaan diam atau gerak tetapnya pada garis lurus disebut *inersia* (kelembaman). Sehingga, Hukum I Newton sering disebut *Hukum Inersia*.

Hukum I Newton tidak selalu berlaku pada setiap kerangka acuan. Sebagai contoh, jika kerangka acuan kalian tetap di dalam mobil yang dipercepat, sebuah benda seperti cangkir yang diletakkan di atas *dashboard* mungkin bergerak ke arah kalian (cangkir tersebut tetap diam selama kecepatan mobil konstan). Cangkir dipercepat ke arah kalian tetapi baik kalian maupun orang atau benda lain memberikan gaya kepada cangkir tersebut dengan arah berlawanan. Pada kerangka acuan yang dipercepat seperti ini, Hukum I Newton tidak berlaku. Kerangka acuan di mana Hukum I Newton berlaku disebut *kerangka acuan inersia*.



Untuk sebagian besar masalah, kita biasanya dapat menganggap bahwa kerangka acuan yang terletak tetap di Bumi adalah kerangka inersia (walaupun hal ini tidak tepat benar, karena disebabkan oleh rotasi Bumi, tetapi cukup mendekati). Kerangka acuan yang bergerak dengan kecepatan konstan (misalnya sebuah mobil) relatif terhadap kerangka inersia juga merupakan kerangka acuan inersia. Kerangka acuan di mana hukum inersia tidak berlaku, seperti kerangka acuan yang dipercepat di atas, disebut *kerangka acuan noninersia*. Bagaimana kita bisa yakin bahwa sebuah kerangka acuan adalah inersia atau tidak? Dengan memeriksa apakah Hukum I Newton berlaku. Dengan demikian Hukum I Newton berperan sebagai definisi kerangka acuan inersia.



## C. Hukum II Newton

Hukum I Newton menyatakan bahwa jika tidak ada gaya total yang bekerja pada sebuah benda, maka benda tersebut akan tetap diam, atau jika sedang bergerak, akan bergerak lurus beraturan (kecepatan konstan). Selanjutnya, apa yang terjadi jika sebuah gaya total diberikan pada benda tersebut?

Newton berpendapat bahwa kecepatan akan berubah. Suatu gaya total yang diberikan pada sebuah benda mungkin menyebabkan lajunya bertambah. Akan tetapi, jika gaya total itu mempunyai arah yang berlawanan dengan gerak benda, gaya tersebut akan memperkecil laju benda. Jika arah gaya total yang bekerja berbeda arah dengan arah gerak benda, maka arah kecepatannya akan berubah (dan mungkin besarnya juga). Karena perubahan laju atau kecepatan merupakan percepatan, berarti dapat dikatakan bahwa gaya total dapat menyebabkan percepatan.

Bagaimana hubungan antara percepatan dan gaya? Pengalaman sehari-hari dapat menjawab pertanyaan ini. Ketika kita mendorong kereta belanja, maka gaya total yang terjadi merupakan gaya yang kita berikan dikurangi gaya gesek antara kereta tersebut dengan lantai. Jika kita mendorong dengan gaya konstan selama selang waktu tertentu, kereta belanja mengalami percepatan dari keadaan diam sampai laju tertentu, misalnya 4 km/jam.



Sumber: *Dokumen Penerbit*, 2006

**Gambar 4.6** Ketika berhenti mendadak tubuh akan terdorong ke depan untuk mempertahankan geraknya.



Benda bergerak karena ada gaya yang diberikan kepada benda tersebut.



Sumber: *Tempo*, Agustus 2005

**Gambar 4.7** Orang yang mendorong kereta belanja berarti memberikan gaya terhadap kereta.

**Komet**  
Kolom mengingat

Gaya yang mengenai benda diam menyebabkan benda bergerak. Gaya yang mengenai benda bergerak menyebabkan benda bergerak lebih cepat, lebih lambat, atau berubah arah.

Jika kita mendorong dengan gaya dua kali lipat semula, maka kereta belanja mencapai 4 km/jam dalam waktu setengah kali sebelumnya. Ini menunjukkan percepatan kereta belanja dua kali lebih besar. Jadi, percepatan sebuah benda berbanding lurus dengan gaya total yang diberikan. Selain bergantung pada gaya, percepatan benda juga bergantung pada massa. Jika kita mendorong kereta belanja yang penuh dengan belanjaan, kita akan menemukan bahwa kereta yang penuh memiliki percepatan yang lebih lambat. Dapat disimpulkan bahwa makin besar massa maka akan makin kecil percepatannya, meskipun gayanya sama. Jadi, percepatan sebuah benda berbanding terbalik dengan massanya.

Hubungan ini selanjutnya dikenal sebagai Hukum II Newton, yang bunyinya sebagai berikut:

*Percepatan sebuah benda berbanding lurus dengan gaya total yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya. Arah percepatan sama dengan arah gaya total yang bekerja padanya.*

Hukum II Newton tersebut dirumuskan secara matematis dalam persamaan:

$$a = \frac{\sum F}{m} \text{ atau } \sum F = m \cdot a \dots\dots\dots (4.1)$$

dengan:

$a$  = percepatan ( $\text{m/s}^2$ )     $m$  = massa benda (kg)

$\sum F$  = resultan gaya (N)

Satuan gaya menurut SI adalah newton (N). Dengan demikian, satu newton adalah gaya yang diperlukan untuk memberikan percepatan sebesar  $1 \text{ m/s}^2$  kepada massa 1 kg. Dari definisi tersebut, berarti  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$ .

Dalam satuan cgs, satuan massa adalah gram (g). Satuan gaya adalah dyne, yang didefinisikan sebagai besar gaya yang diperlukan untuk memberi percepatan sebesar  $1 \text{ cm/s}^2$  kepada massa 1 g. Dengan demikian,  $1 \text{ dyne} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm/s}^2$ . Hal ini berarti  $1 \text{ dyne} = 10^{-5} \text{ N}$ .

#### Contoh Soal

1. Jika suatu benda diberi gaya 20 N, benda tersebut memiliki percepatan  $4 \text{ m/s}^2$ . Berapakah percepatan yang dialami benda tersebut jika diberi gaya 25 N?

*Penyelesaian:*

Pada kasus ini, massa benda ( $m$ ) adalah tetap. Ketika diberi gaya  $F_1 = 20 \text{ N}$ , benda mengalami percepatan  $a_1 = 4 \text{ m/s}^2$ , sehingga massa benda:

$$m = \frac{F_1}{a_1} = \frac{20 \text{ N}}{4 \text{ m/s}^2} = 5 \text{ kg}$$

Pada saat diberi gaya  $F_2$  sebesar 25 N, maka percepatan yang dialami benda menjadi:

$$\begin{aligned}a_2 &= \frac{F_2}{m_2} \\&= \frac{25 \text{ N}}{5 \text{ kg}} \\&= 5 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

2. Sebuah gaya  $F$  dikerjakan pada sebuah benda bermassa  $m$ , menghasilkan percepatan  $10 \text{ m/s}^2$ . Jika gaya tersebut dikerjakan pada benda kedua dengan massa  $m_2$ , percepatan yang dihasilkan  $15 \text{ m/s}^2$ .

Tentukan:

- perbandingan  $m_1$  dan  $m_2$ ,
- percepatan yang dihasilkan gaya  $F_1$ , apabila  $m_1$  dan  $m_2$  digabung!

*Penyelesaian:*

- Gaya  $F$  pada benda I dengan massa  $m_1$ , menghasilkan percepatan  $a_1 = 10 \text{ m/s}^2$ , maka akan diperoleh:

$$\begin{aligned}m_1 &= \frac{F_1}{a_1} \\&= \frac{F}{10 \text{ m/s}^2}\end{aligned}$$

Gaya  $F$  pada benda II dengan massa  $m_2$ , menghasilkan percepatan  $a_2 = 15 \text{ m/s}^2$ , maka:

$$\begin{aligned}m_2 &= \frac{F_2}{a_2} = \frac{F}{15 \text{ m/s}^2} \\m_1 : m_2 &= \frac{F}{10} : \frac{F}{15} \\&= \frac{1}{10} : \frac{1}{15} \\m_1 : m_2 &= 3 : 2\end{aligned}$$

- Apabila massa digabung, maka:

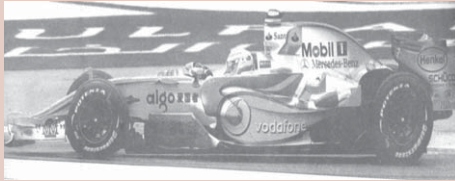
$$\begin{aligned}m &= m_1 + m_2 \\&= \frac{F}{10} + \frac{F}{15} \\&= \frac{5F}{30} = \frac{F}{6}\end{aligned}$$

Percepatan yang dihasilkan adalah:

$$\begin{aligned}a &= \frac{F}{m} \\&= \frac{F}{\frac{F}{6}} \\&= 6 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

## Percikan Fisika

### Laju Mobil Balap



Mesin mobil balap membangkitkan daya luar biasa besar agar dapat melaju dengan percepatan sebesar mungkin. Laju perubahan momentum pada kendaraan bergantung kepada percepatannya; besar percepatan tergantung pada gaya yang diberikan mesin (tersalur lewat roda) pada badan jalan.

### Uji Kemampuan 4.1

1. Berapakah percepatan yang dialami sebuah benda yang massanya 750 g, apabila gaya yang diberikan 15 N?
2. Seorang pemuda yang bermassa 70 kg, mampu mendorong gerobak beserta isinya yang bermassa 110 kg dengan percepatan tetap  $1,2 \text{ m/s}^2$ . Jika beban gerobak dikurangi, sehingga massanya menjadi 90 kg, berapa percepatan yang dihasilkannya?



### D.

## Hukum III Newton



Sumber: *Dokumen Penerbit*, 2006

**Gambar 4.8** Seekor kuda menarik sebuah kereta membuktikan bahwa gaya yang diberikan pada sebuah benda selalu diberikan oleh benda lain.

Hukum II Newton menjelaskan secara kuantitatif bagaimana gaya-gaya memengaruhi gerak. Tetapi kita mungkin bertanya, dari mana gaya-gaya itu datang? Berdasarkan pengamatan membuktikan bahwa gaya yang diberikan pada sebuah benda selalu diberikan oleh benda lain. Sebagai contoh, seekor kuda yang menarik kereta, tangan seseorang mendorong meja, martil memukul/mendorong paku, atau magnet menarik paku. Contoh tersebut menunjukkan bahwa gaya diberikan pada sebuah benda, dan gaya tersebut diberikan oleh benda lain, misalnya gaya yang diberikan pada meja diberikan oleh tangan.

Newton menyadari bahwa hal ini tidak sepenuhnya seperti itu. Memang benar tangan memberikan gaya pada meja, tampak seperti pada Gambar 4.9. Tetapi meja tersebut jelas memberikan gaya kembali kepada tangan. Dengan demikian, Newton berpendapat bahwa kedua benda tersebut harus dipandang sama. Tangan memberikan gaya pada meja, dan meja memberikan gaya balik kepada tangan.

Hal ini merupakan inti dari Hukum III Newton, yaitu:

*Ketika suatu benda memberikan gaya pada benda kedua, benda kedua tersebut memberikan gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah terhadap benda pertama.*

Hukum III Newton ini kadang dinyatakan sebagai hukum aksi-reaksi, “untuk setiap aksi ada reaksi yang sama dan berlawanan arah”. Untuk menghindari kesalahpahaman, sangat penting untuk mengingat bahwa gaya “aksi” dan gaya “reaksi” bekerja pada benda yang berbeda.

Kebenaran Hukum III Newton dapat ditunjukkan dengan contoh berikut ini. Perhatikan tangan kalian ketika mendorong ujung meja. Bentuk tangan kalian menjadi berubah, bukti nyata bahwa sebuah gaya bekerja padanya. Kalian bisa melihat sisi meja menekan tangan kalian. Mungkin kalian bahkan bisa merasakan bahwa meja tersebut memberikan gaya pada tangan kalian; rasanya sakit! Makin kuat kalian mendorong meja itu, makin kuat pula meja tersebut mendorong balik. Perhatikan bahwa kalian hanya merasakan gaya yang diberikan pada kalian, bukan gaya yang kalian berikan pada benda-benda lain.



Sumber: Dokumen Penerbit, 2006

**Gambar 4.9** Ketika tangan mendorong ujung meja, meja mendorong tangan kembali.

## Percikan Fisika



### Tarikan

Pedayung memanfaatkan Hukum III Newton. Pada waktu mengayunkan dayung, pedayung mendorong air ke belakang. Gaya ke belakang pada air itu menghasilkan gaya yang sama tetapi berlawanan. Gaya ini menggerakkan perahu ke depan. Ada keuntungan tambahan yang diperoleh karena dayung itu merupakan pengungkit; tarikan pendek oleh pedayung menghasilkan gerak yang lebih panjang pada ujung lain dayung tersebut.



## E. Berat - Gaya Gravitasi dan Gaya Normal

Galileo menyatakan bahwa benda-benda yang dijatuhkan di dekat permukaan bumi akan jatuh dengan percepatan yang sama yaitu  $g$ , jika hambatan udara dapat diabaikan. Gaya yang menyebabkan percepatan ini disebut gaya gravitasi. Dengan menerapkan Hukum II Newton untuk gaya gravitasi dan untuk percepatan  $a$ ,



Kolom mengingat

Percepatan gravitasi di Bumi berbeda dengan percepatan gravitasi di Bulan. Demikian pula berat suatu benda di Bumi, Bulan, atau planet lain juga berbeda.

digunakan percepatan ke bawah yang disebabkan oleh gravitasi yaitu  $g$ , maka gaya gravitasi pada sebuah benda  $F_G$ , yang besarnya biasa disebut berat  $w$ , dapat dituliskan:

$$F_G = m \cdot g \dots\dots\dots (4.2)$$

Arah gaya ini ke bawah menuju pusat bumi.

Dalam satuan Sistem Internasional (SI), percepatan gravitasi dinyatakan dalam  $m/s^2$ . Percepatan gravitasi di suatu tempat pada permukaan bumi sebesar  $g = 9,80 \text{ m/s}^2$ . Satuan percepatan gravitasi dapat dinyatakan dalam  $N/kg$ , di mana  $g = 9,80 \text{ m/s}^2 = 9,80 \text{ N/kg}$ . Hal ini berarti, sebuah benda yang massanya  $1 \text{ kg}$  di permukaan bumi memiliki berat sebesar:

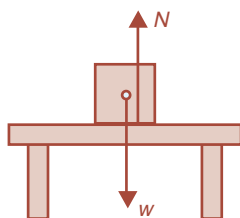
$$w = 1 \text{ kg} \times 9,80 \text{ m/s}^2 = 9,80 \text{ N}$$

Berat suatu benda di Bumi, Bulan, planet lain, atau di luar angkasa besarnya berbeda-beda. Sebagai contoh, percepatan gravitasi  $g$  di permukaan bulan kira-kira  $1/6$  percepatan gravitasi di permukaan bumi. Sehingga massa  $1 \text{ kg}$  di permukaan bumi yang beratnya  $9,8 \text{ N}$ , ketika berada di permukaan bulan beratnya menjadi  $1,7 \text{ N}$ .

Gaya gravitasi bekerja pada sebuah benda ketika benda tersebut jatuh. Ketika benda berada dalam keadaan diam di Bumi, gaya gravitasi pada benda tersebut tidak hilang. Hal ini dapat diketahui, jika kita menimbang benda tersebut dengan menggunakan neraca pegas. Gaya yang besarnya sama, pada persamaan (4.2), tetap bekerja, tetapi mengapa benda tidak bergerak?

Dari Hukum II Newton, resultan gaya pada sebuah benda yang tetap diam adalah nol. Pasti ada gaya lain pada benda tersebut untuk mengimbangi gaya gravitasi. Untuk sebuah benda yang diam di atas meja, maka meja tersebut memberikan gaya ke atas (perhatikan Gambar 4.10). Meja sedikit tertekan di bawah benda, dan karena elastisitasnya, meja itu mendorong benda ke atas seperti diperlihatkan pada gambar. Gaya yang diberikan oleh meja ini sering disebut **gaya sentuh**, karena terjadi jika dua benda bersentuhan. Ketika gaya sentuh *tegak lurus* terhadap permukaan bidang sentuh, gaya itu biasa disebut **gaya normal  $N$**  (“normal” berarti tegak lurus).

Kedua gaya yang ditunjukkan pada Gambar 4.10, bekerja pada benda yang tetap dalam keadaan diam, sehingga jumlah vektor kedua gaya ini pasti nol (Hukum II Newton). Dengan demikian,  $w$  dan  $N$  harus memiliki besar yang sama dan berlawanan arah.

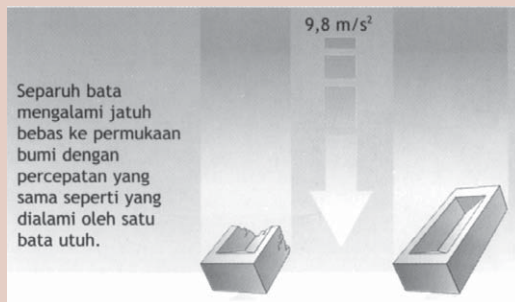


**Gambar 4.10** Gaya pada sebuah benda dalam keadaan diam.



Tetapi gaya-gaya tersebut bukan gaya-gaya yang sama dan berlawanan arah yang dibicarakan pada Hukum III Newton. Gaya aksi dan reaksi Hukum III Newton bekerja pada benda yang berbeda, sementara kedua gaya yang ditunjukkan pada Gambar 4.10, bekerja pada benda yang sama. Gaya ke atas  $N$  pada benda diberikan oleh meja. Reaksi terhadap gaya ini adalah gaya yang diberikan oleh benda kepada meja.

## Percikan Fisika



### Percepatan dan Jatuh Bebas

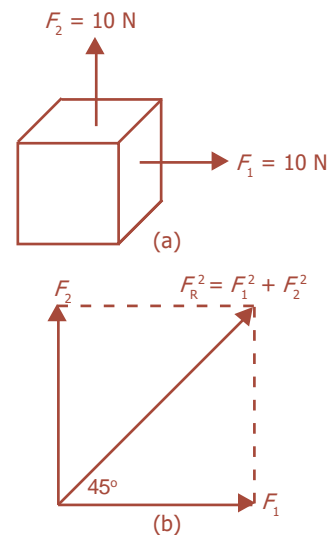
Percepatan akibat gravitasi bumi adalah 9,8 meter per detik kuadrat ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ). Selama jangka waktu 1 detik, laju sembarang objek yang jatuh bebas akan meningkat sebesar 9,8 meter per detik. Percepatan jatuh bebas gravitasi tidak bergantung pada massa objek yang dipengaruhi. Tanpa hambatan udara, setengah bata akan mengalami percepatan sama besar dengan yang dialami oleh satu bata utuh.



## F. Aplikasi Hukum-Hukum Newton tentang Gerak

Hukum II Newton menyatakan bahwa percepatan sebuah benda berbanding lurus dengan resultan gaya yang bekerja pada benda tersebut. Resultan gaya adalah jumlah vektor dari semua gaya yang bekerja pada benda itu. Melalui kegiatan eksperimen yang ekstensif telah membuktikan bahwa gaya-gaya bergabung sebagai vektor sesuai aturan yang berlaku pada penjumlahan vektor. Sebagai contoh, dua gaya yang besarnya sama masing-masing 10 N, digambarkan bekerja pada sebuah benda dengan saling membentuk sudut siku-siku. Secara intuitif, kita bisa melihat bahwa benda itu akan bergerak dengan sudut  $45^\circ$ . Dengan demikian resultan gaya bekerja dengan arah sudut  $45^\circ$ . Hal ini diberikan oleh aturan-aturan penjumlahan vektor. Teorema Pythagoras menunjukkan bahwa besar resultan gaya adalah:

$$F_R = \sqrt{(10 \text{ N})^2 + (10 \text{ N})^2} = 14,1 \text{ N}$$



**Gambar 4.11** (a) Dua gaya bekerja pada suatu benda, (b) resultan gaya.

Ketika memecahkan masalah yang melibatkan Hukum Newton dan gaya, penggambaran diagram untuk menunjukkan semua gaya yang bekerja pada setiap benda sangatlah penting. Diagram tersebut dinamakan diagram gaya, di mana kita gambar tanda panah untuk mewakili setiap gaya yang bekerja pada benda, dengan meyakinkan bahwa semua gaya yang bekerja pada benda tersebut telah dimasukkan.

Jika gerak translasi (lurus) yang diperhitungkan, kita dapat menggambarkan semua gaya pada suatu benda bekerja pada pusat benda itu, dengan demikian menganggap benda tersebut sebagai benda titik.

## 1. Gerak Benda pada Bidang Datar

Gambar 4.12 menunjukkan pada sebuah balok yang terletak pada bidang mendatar yang licin, bekerja gaya  $F$  mendatar hingga balok bergerak sepanjang bidang tersebut. Komponen gaya-gaya pada sumbu  $y$  adalah:

$$\sum F_y = N - w$$

Dalam hal ini, balok tidak bergerak pada arah sumbu  $y$ , berarti  $a_y = 0$ , sehingga:

$$\sum F_y = 0$$

$$N - w = 0$$

$$N = w = m \cdot g \dots\dots\dots (4.3)$$

dengan:

$N$  = gaya normal (N)

$w$  = berat benda (N)

$m$  = massa benda (kg)

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

Sementara itu, komponen gaya pada sumbu  $x$  adalah:

$$\sum F_x = F$$

Dalam hal ini, balok bergerak pada arah sumbu  $x$ , berarti besarnya percepatan benda dapat dihitung sebagai berikut:

$$\sum F_x = m \cdot a$$

$$F = m \cdot a$$

$$a = \frac{F}{m} \dots\dots\dots (4.4)$$

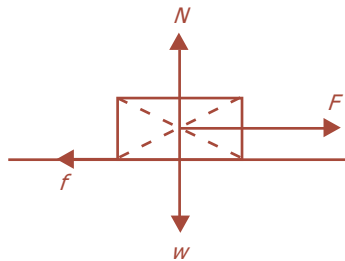
dengan:

$a$  = percepatan benda ( $\text{m/s}^2$ )


$F$  = gaya yang bekerja (N)

$m$  = massa benda (kg)

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )



**Gambar 4.12** Balok terletak pada bidang mendatar yang licin, dikerjakan gaya.



Komet

Kolom mengingat

Dua gaya atau lebih dapat digabungkan:

1. searah:  $F_1 + F_2$
2. berlawanan arah:  $F_1 - F_2$
3. tegak lurus:  $\sqrt{F_1^2 + F_2^2}$



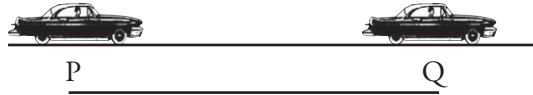
### Contoh Soal

Sebuah mobil bermassa 0,5 ton melaju dengan kecepatan 72 km/jam di atas jalan datar. Berapa gaya hambat yang dapat menghentikan mobil setelah menempuh jarak 1.000 m?

*Penyelesaian:*

$$v_0 = 72 \text{ km/jam}$$

$$v_t = 0 \text{ km/jam}$$



$$v_0 = 72 \text{ km/jam} = 20 \text{ m/s}$$

$$v_t = 0$$

$$s = \text{jarak PQ} = 1.000 \text{ m}$$

Sehingga, percepatan  $a$  diperoleh:

$$v_t^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s$$

$$0 = (20 \text{ m/s})^2 + 2 \cdot a \cdot (1.000 \text{ m})$$

$$a = -\frac{400}{2.000} \text{ m/s}^2$$

$$a = -0,2 \text{ m/s}^2 \text{ (tanda (-) menunjukkan perlambatan)}$$

Massa mobil  $m = 0,5 \text{ ton} = 500 \text{ kg}$ , sehingga gaya hambat:

$$F = m \cdot a$$

$$= 500 \text{ kg} \times 0,2 \text{ m/s}^2$$

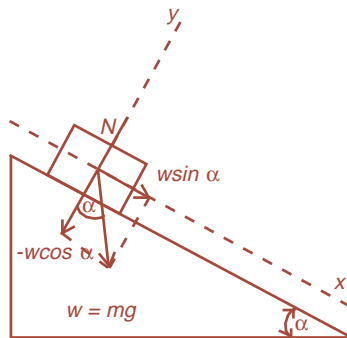
$$= 100 \text{ N}$$

### Uji Kemampuan 4.2

1. Sebuah truk dengan massa 900 kg bergerak di jalan lurus dan percepatan konstan  $6 \text{ m/s}^2$ . Sepanjang perjalanan, truk memperoleh hambatan total sebesar 600 N. Berapa gaya yang dihasilkan mesin truk tersebut?
2. Pada sebuah benda bermassa 45 kg, bekerja gaya konstan, sehingga kecepatan benda itu berkurang dari 12 m/s menjadi 7 m/s dalam waktu 5 detik. Berapa besar gaya tersebut?

## 2. Gerak Benda pada Bidang Miring

Gambar 4.13 menunjukkan sebuah balok yang bermassa  $m$  bergerak menuruni bidang miring yang licin. Dalam hal ini kita anggap untuk sumbu  $x$  ialah bidang miring, sedangkan sumbu  $y$  adalah tegak lurus pada bidang miring.



**Gambar 4.13** Balok terletak pada bidang miring yang licin, dikerjakan gaya.

Komponen gaya berat  $w$  pada sumbu  $y$  adalah:

$$w_y = w \cos \alpha = m \cdot g \cos \alpha$$

Resultan gaya-gaya pada komponen sumbu  $y$  adalah:

$$\sum F_y = N - w_y = N - m \cdot g \cos \alpha$$

Dalam hal ini, balok tidak bergerak pada arah sumbu  $y$ , berarti  $a_y = 0$ , sehingga:

$$\sum F_y = 0$$

$$N - m \cdot g \cos \alpha = 0$$

$$N = m \cdot g \cos \alpha \dots\dots\dots (4.5)$$

dengan:

$N$  = gaya normal pada benda (N)

$m$  = massa benda (kg)

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$\alpha$  = sudut kemiringan bidang

Sementara itu, komponen gaya berat ( $w$ ) pada sumbu  $x$  adalah:

$$w_x = w \sin \alpha = m \cdot g \sin \alpha$$

Komponen gaya-gaya pada sumbu  $x$  adalah:

$$\sum F_x = m \cdot g \sin \alpha$$

Dalam hal ini, balok bergerak pada arah sumbu  $x$ , berarti besarnya percepatan benda dapat dihitung sebagai berikut:

$$\sum F_x = m \cdot a$$

$$m \cdot g \sin \alpha = m \cdot a$$

$$a = g \sin \alpha \dots\dots\dots (4.6)$$

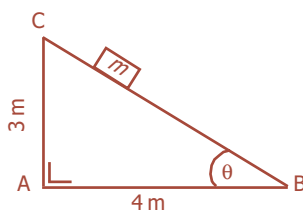
dengan:

$a$  = percepatan benda ( $\text{m/s}^2$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$\alpha$  = sudut kemiringan bidang

### Contoh Soal



Sebuah benda dengan massa 300 kg berada pada suatu bidang miring, seperti yang terlihat pada gambar di samping. Jika gaya gesek diabaikan, tentukan besar gaya yang menyebabkan benda bergerak ke bawah!

*Penyelesaian:*

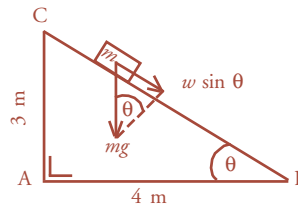
Berdasarkan teorema Pythagoras:

$$\begin{aligned}(BC)^2 &= (AC)^2 + (AB)^2 \\ &= (3 \text{ m})^2 + (4 \text{ m})^2 \\ (BC)^2 &= 25 \text{ m}^2 \\ &= 5 \text{ m}\end{aligned}$$

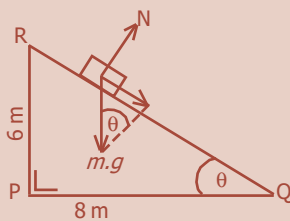
$$\sin \theta = \frac{AC}{BC} = \frac{3 \text{ m}}{5 \text{ m}} = 0,6$$

Benda bergerak ke bawah karena adanya gaya berat  $m \cdot g$  pada bidang miring BC, yaitu  $w \sin \theta$ , yang dinyatakan:

$$w \sin \theta = m \cdot g \cdot \sin \theta = (300 \text{ kg})(9,8 \text{ m/s}^2)(0,6) = 1.764 \text{ N}$$



### Uji Kemampuan 4.3



Jika diketahui massa balok 8 kg dan percepatan gravitasi setempat  $10 \text{ m/s}^2$ , tentukan gaya normal yang dikerjakan bidang pada balok pada kasus yang ditunjukkan gambar di samping!

## 3. Gerak Benda-Benda yang Dihubungkan dengan Tali

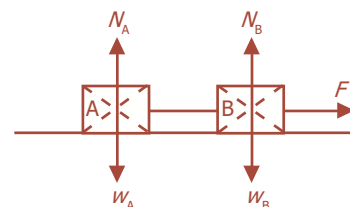
Gambar 4.14 menunjukkan dua buah balok A dan B dihubungkan dengan seutas tali terletak pada bidang mendatar yang licin. Pada salah satu balok (misalnya balok B) dikerjakan gaya  $F$  mendatar hingga keduanya bergerak sepanjang bidang tersebut dan tali dalam keadaan tegang yang dinyatakan dengan  $T$ .

Apabila massa balok A dan B masing-masing adalah  $m_A$  dan  $m_B$ , serta keduanya hanya bergerak pada arah komponen sumbu  $x$  saja dan percepatan keduanya sama yaitu  $a$ , maka resultan gaya yang bekerja pada balok A (komponen sumbu  $x$ ) adalah:

$$\sum F_{x(A)} = T = m_A \cdot a \quad (4.7)$$

Sementara itu, resultan gaya yang bekerja pada balok B (komponen sumbu  $x$ ) adalah:

$$\sum F_{x(B)} = F - T = m_B \cdot a \quad (4.8)$$



**Gambar 4.14** Balok terletak pada bidang mendatar yang licin, dikerjakan gaya.

Dengan menjumlahkan persamaan (4.7) dan persamaan (4.8) didapatkan:

$$\begin{aligned} F - T + T &= m_A \cdot a + m_B \cdot a \\ F &= (m_A + m_B) a \\ a &= \frac{F}{(m_A + m_B)} \dots\dots\dots (4.9) \end{aligned}$$

dengan:

- $a$  = percepatan sistem ( $\text{m/s}^2$ )
- $F$  = gaya yang bekerja (N)
- $m_A$  = massa benda A (kg)
- $m_B$  = massa benda B (kg)

#### 4. Gerak Benda di Dalam Lift

Gambar 4.15 menunjukkan seseorang yang berada di dalam lift. Dalam hal ini ada beberapa kemungkinan peristiwa, antara lain:

- a. Lift dalam keadaan diam atau bergerak dengan kecepatan konstan.

Komponen gaya pada sumbu  $y$  adalah:

$$\sum F_y = N - w$$

Dalam hal ini, lift dalam keadaan diam atau bergerak dengan kecepatan tetap (GLB) pada komponen sumbu  $y$ , berarti  $a_y = 0$ , sehingga:

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ N - w &= 0 \\ N = w = m \cdot g \dots\dots\dots (4.10) \end{aligned}$$

dengan:

- $N$  = gaya normal (N)
- $w$  = berat orang/benda (N)
- $m$  = massa orang/benda (kg)
- $g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

- b. Lift dipercepat ke atas

Komponen gaya pada sumbu  $y$  adalah:

$$\sum F_y = N - w$$

Dalam hal ini, lift bergerak ke atas mengalami percepatan  $a$ , sehingga:

$$\begin{aligned} \sum F_y &= N - w \\ N - w &= m \cdot a \\ N &= w + (m \cdot a) \dots\dots\dots (4.11) \end{aligned}$$

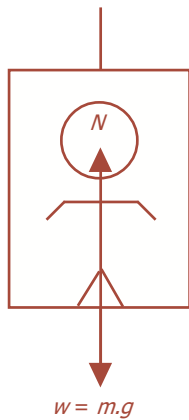
dengan:

- $N$  = gaya normal (N)
- $w$  = berat orang/benda (N)
- $m$  = massa orang/benda (kg)
- $a$  = percepatan lift ( $\text{m/s}^2$ )



Sumber: Dokumen Penerbit, 2006

**Gambar 4.15** Seseorang di dalam lift.



- c. Lift dipercepat ke bawah

Komponen gaya pada sumbu  $y$  adalah:

$$\sum F_y = w - N$$

Dalam hal ini, lift bergerak ke bawah mengalami percepatan  $a$ , sehingga:

$$\sum F_y = m \cdot a$$

$$w - N = m \cdot a$$

$$N = w - (m \cdot a) \dots\dots\dots (4.12)$$

dengan:

$N$  = gaya normal (N)

$w$  = berat orang/benda (N)

$m$  = massa orang/benda (kg)

$a$  = percepatan lift ( $\text{m/s}^2$ )

Catatan: Apabila lift mengalami perlambatan, maka percepatan  $a = -a$ .



Sumber: Dokumen Penerbit, 2006

**Gambar 4.16** Lift mengalami percepatan ke atas dan ke bawah.

## 5. Gerak Benda yang Dihubungkan dengan Tali melalui Sebuah Katrol

Gambar 4.17 menunjukkan dua buah balok A dan B yang dihubungkan dengan seutas tali melalui sebuah katrol yang licin dan massanya diabaikan. Apabila massa benda A lebih besar dari massa benda B ( $m_A > m_B$ ), maka benda A akan bergerak turun dan B akan bergerak naik. Karena massa katrol dan gesekan pada katrol diabaikan, maka selama sistem bergerak besarnya tegangan pada kedua ujung tali adalah sama yaitu  $T$ . Selain itu, percepatan yang dialami oleh masing-masing benda adalah sama yaitu sebesar  $a$ .

Dalam menentukan persamaan gerak berdasarkan Hukum II Newton, kita pilih gaya-gaya yang searah dengan gerak benda diberi tanda positif (+), sedangkan gaya-gaya yang berlawanan arah dengan gerak benda diberi tanda negatif (-).

Resultan gaya yang bekerja pada balok A adalah:

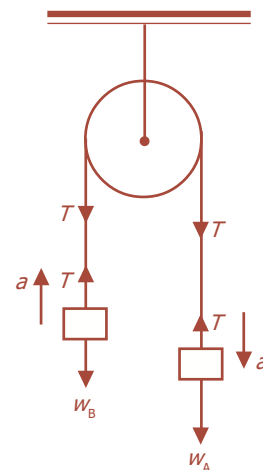
$$\sum F_A = m_A \cdot a$$

$$w_A - T = m_A \cdot a \dots\dots\dots (4.13)$$

Resultan gaya yang bekerja pada balok B adalah:

$$\sum F_B = m_B \cdot a$$

$$T - w_B = m_B \cdot a \dots\dots\dots (4.14)$$



**Gambar 4.17** Dua buah benda dihubungkan dengan tali melalui sebuah katrol.

**Komet**  
Kolom mengingat

Massa berbeda dengan berat:

- satuan massa = kg
- satuan berat = N,
- massa di mana saja nilainya tetap,
- berat dipengaruhi besarnya gravitasi.

Dengan menjumlahkan persamaan (4.13) dan persamaan (4.14) didapatkan:

$$\begin{aligned} w_A - w_B &= m_A \cdot a + m_B \cdot a \\ (m_A - m_B)g &= (m_A + m_B)a \\ a &= \frac{(m_A - m_B)g}{(m_A + m_B)} \dots\dots\dots (4.15) \end{aligned}$$

Secara umum, untuk menentukan percepatan gerak benda (sistem Gambar 4.17) berdasarkan persamaan Hukum II Newton dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum F &= \sum m \cdot a \\ w_A - w_B &= m_A \cdot a + m_B \cdot a \\ (m_A - m_B)g &= (m_A + m_B)a \\ a &= \frac{(m_A - m_B)g}{(m_A + m_B)} \dots\dots\dots (4.16) \end{aligned}$$

dengan:

- $a$  = percepatan sistem ( $\text{m/s}^2$ )
- $m_A$  = massa benda A (kg)
- $m_B$  = massa benda B (kg)
- $g$  = percepatan gravitasi setempat ( $\text{m/s}^2$ )

Besarnya tegangan tali ( $T$ ) dapat ditentukan dengan mensubstitusikan persamaan (4.13) atau (4.14), sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$T = w_A - m_A \cdot a = m_A \cdot g - m_A \cdot a = m_A(g - a) \dots\dots\dots (4.17)$$

atau

$$T = m_B \cdot a + w_B = m_B \cdot a + m_B \cdot g = m_B(a + g) \dots\dots\dots (4.18)$$

### Contoh Soal

Dua benda A dan B dengan massa masing-masing 5 kg dan 3 kg dihubungkan dengan sebuah katrol tanpa gesekan. Gaya  $P$  diberikan pada katrol dengan arah ke atas. Jika mula-mula kedua balok diam di atas lantai, berapakah percepatan balok A, apabila besar  $P$  adalah 60 N? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

Penyelesaian:

$$m_A \cdot g = (5 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2) = 50 \text{ N}$$

$$m_B \cdot g = (3 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2) = 30 \text{ N}$$

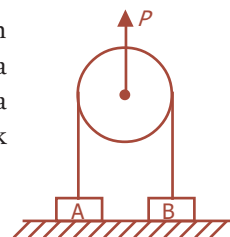
Pada sistem katrol tersebut berlaku:

$$\sum F = 0$$

$$P - \sum F = 0$$

$$\sum F = P$$

$$T = \frac{1}{2}P$$



Untuk balok A yang tepat akan bergerak, berlaku:

$$\sum F = 0$$

$$T_{A \text{ min}} - m_A \cdot g = 0$$

$$T_{A \text{ min}} = m_A \cdot g$$

$$T_{A \text{ min}} = 50 \text{ N}$$

$$P = 60 \text{ N}$$

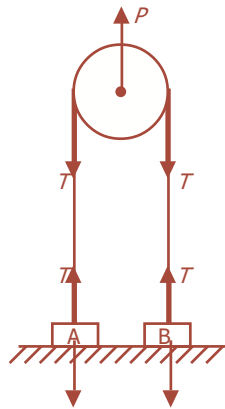
$$T = \frac{1}{2} P$$

$$= \frac{1}{2} (60 \text{ N})$$

$$= 30 \text{ N}$$

$$T = 30 \text{ N} < T_{A \text{ min}} = 50 \text{ N}$$

Jadi, balok A diam  $\rightarrow a_A = 0$



#### Uji Kemampuan 4.4

Dua buah benda masing-masing mempunyai massa 4 kg dan 6 kg dihubungkan melalui sebuah katrol. Jika percepatan gravitasi,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , dan benda B yang mula-mula ditahan kemudian dilepaskan, tentukan kecepatan benda kedua saat mengenai lantai!

Selanjutnya, salah satu benda terletak pada bidang mendatar yang licin dihubungkan dengan benda lain dengan menggunakan seutas tali melalui sebuah katrol, di mana benda yang lain dalam keadaan tergantung tampak seperti pada Gambar 4.18 di samping.

Dalam hal ini kedua benda merupakan satu sistem yang mengalami percepatan sama, maka berdasarkan persamaan Hukum II Newton dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\sum F = \sum m \cdot a$$

$$w_A - T + T - T + T = (m_A + m_B) a$$

$$w_A = (m_A + m_B) a$$

$$m_A \cdot g = (m_A + m_B) a$$

$$a = \frac{m_A}{m_A + m_B} \cdot g \dots \dots \dots (4.19)$$

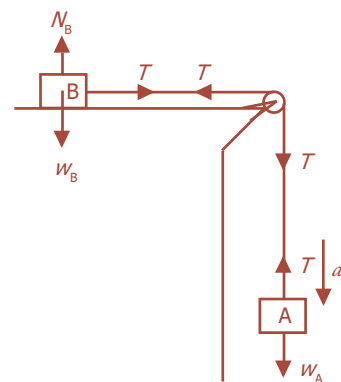
dengan:

$a$  = percepatan sistem ( $\text{m/s}^2$ )

$m_A$  = massa benda A (kg)

$m_B$  = massa benda B (kg)

$g$  = percepatan gravitasi setempat ( $\text{m/s}^2$ )



**Gambar 4.18** Sebuah benda di atas bidang mendatar dihubungkan dengan tali melalui sebuah katrol dengan benda lain yang tergantung.

Besarnya tegangan tali ( $T$ ) dapat ditentukan dengan meninjau resultan gaya yang bekerja pada masing-masing benda, dan didapatkan persamaan:

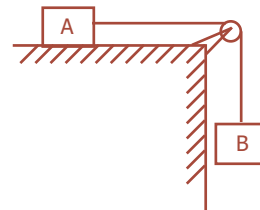
$$T = m_A \cdot a \dots\dots\dots (4.20)$$

atau

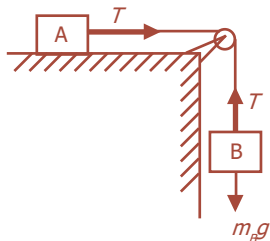
$$T = w_B - m_B \cdot a = m_B \cdot g - m_B \cdot a = m_B(g - a) \dots\dots\dots (4.21)$$

### Contoh Soal

Dua buah balok A dan B dengan massa masing-masing 20 kg dan 5 kg, dihubungkan melalui sebuah katrol, seperti terlihat pada gambar di samping. Balok B mula-mula ditahan kemudian dilepaskan. Berapakah percepatan dan tegangan tali masing-masing balok? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )



Penyelesaian:



Kita tinjau sistem A dan B:

$$\begin{aligned} \sum F &= m \cdot a \\ T - T + m_B \cdot g &= (m_A + m_B) a \\ a &= \frac{m_B}{m_A + m_B} g \\ a &= \frac{5 \text{ kg}}{(20 \text{ kg} + 5 \text{ kg})} \times 10 \text{ m/s}^2 \\ a &= 2 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Tegangan tali ditentukan dengan meninjau balok A:

$$T = m_A \cdot a = (20 \text{ kg})(2 \text{ m/s}^2) = 40 \text{ N}$$

### Percikan Fisika



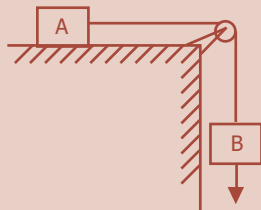
#### Tiga Hukum Gerak

Dengan letak sangat jauh dari pengaruh gravitasi bumi dan gaya gesek, wahana angkasa membuktikan tiga Hukum Newton. Ketika sebuah wahana angkasa menghidupkan motor roketnya, proses pembakaran di dalam ruang perapian menghasilkan semburan gas panas berkecepatan tinggi dari ekor roket. Karena bahan bakar dan oksidan yang masuk ke mesin roket hampir tidak memiliki momentum, proses pembakaran sajalah yang



menyebabkan gaya dorong molekul-molekul gas ke belakang (dalam wujud semburan gas dari ekor roket). Semburan gas dari ruang perapian menghasilkan gaya reaksi yang menggerakkan wahana angkasa ke depan. Inilah Hukum III Newton. Karena massa wahana angkasa jauh lebih besar dibanding massa gas roket, badan wahana angkasa melaju dengan percepatan jauh lebih kecil dibanding molekul-molekul gas buangan, pada laju perubahan momentum yang sama. Sehingga percepatan wahana angkasa sebanding dengan gaya dari motor dan berbanding terbalik dengan massanya (Hukum II Newton). Ketika mesin roket dimatikan, wahana angkasa tetap melaju dengan kecepatan tetap (Hukum I Newton) dan menempuh lintasan garis lurus.

#### Uji Kemampuan 4.5



Benda A dengan massa 6 kg dan benda B dengan massa 3 kg dihubungkan dengan tali seperti gambar di samping. Jika koefisien gesekannya 0,3 dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan percepatan benda!

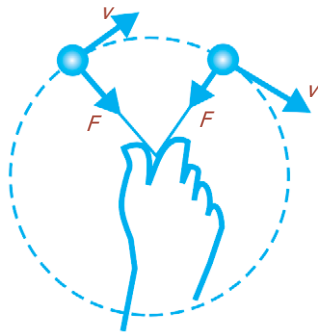


### G. Dinamika Gerak Melingkar Beraturan

Menurut Hukum II Newton, sebuah benda yang mengalami percepatan harus memiliki resultan gaya yang bekerja padanya. Benda yang bergerak membentuk lingkaran, seperti sebuah bola di ujung seutas tali, harus mempunyai gaya yang diberikan padanya untuk mempertahankan gerakanya dalam lingkaran itu. Dengan demikian, diperlukan resultan gaya untuk memberinya percepatan sentripetal. Besar gaya yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan Hukum II Newton.

Resultan gaya pada komponen radialnya adalah  $\sum F_R = m \cdot a_R$ , di mana  $a_R$  adalah percepatan sentripetal,  $a_R = \frac{v^2}{R}$ , sedangkan  $\sum F_R$  adalah resultan gaya dalam arah radial.

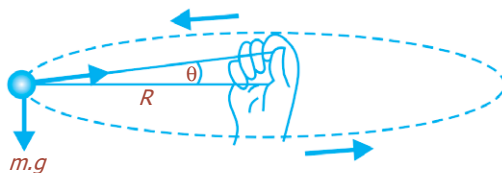
$$\sum F_R = m \cdot a_R = m \frac{v^2}{R} \dots\dots\dots (4.22)$$



**Gambar 4.19** Untuk mempertahankan gerak sebuah benda pada lingkaran dibutuhkan sebuah gaya. Jika laju konstan, gaya diarahkan menuju pusat lingkaran.

Oleh karena  $a_R$  diarahkan menuju pusat lingkaran pada setiap waktu, resultan gaya juga harus diarahkan ke pusat lingkaran. Resultan gaya jelas diperlukan, karena jika tidak ada resultan gaya yang bekerja, benda tersebut tidak akan bergerak membentuk lingkaran melainkan bergerak pada garis lurus.

Pada gerak melingkar beraturan, gaya ke samping ini harus bekerja menuju pusat lingkaran (Gambar 4.19). Arah resultan gaya dengan demikian terus berubah sehingga selalu diarahkan ke pusat lingkaran. Gaya ini sering disebut gaya sentripetal (“menuju ke pusat”). Istilah ini hanya mendeskripsikan arah resultan gaya, bahwa resultan gaya diarahkan menuju pusat lingkaran. Gaya harus diberikan oleh benda lain. Sebagai contoh, ketika seseorang memutar bola di ujung sebuah tali membentuk lingkaran, orang tersebut menarik tali dan tali memberikan gaya pada bola.



**Gambar 4.20** Gerak sebuah benda pada lingkaran horizontal.

### 1. Gaya pada Bola yang Berputar (Horizontal)

Gambar 4.20 menunjukkan dua gaya yang bekerja pada bola, yaitu gaya gravitasi  $m.g$  dan gaya tegangan  $F_T$  yang diberikan oleh tali (yang terjadi karena orang itu memberikan gaya yang sama pada tali). Jika berat bola itu cukup kecil, dapat kita

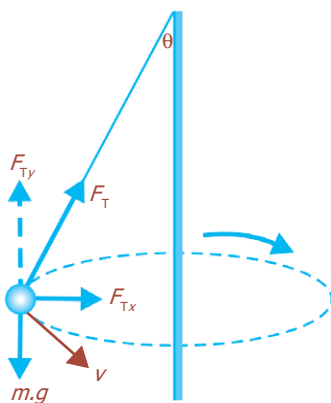
abaikan. Dengan demikian,  $F_T$  akan bekerja secara horizontal ( $\theta \approx 0$ ) dan menyediakan gaya yang diperlukan untuk memberi percepatan sentripetal pada bola. Berdasarkan Hukum II Newton untuk arah radial pada bidang horizontal yang kita sebut misalnya komponen sumbu  $x$ , berlaku:

$$F_x = m.a_x = \frac{v^2}{R} \dots\dots\dots (4.23)$$

### 2. Ayunan Konikal (Ayunan Kerucut)

Gambar 4.21 menunjukkan permainan bola tambatan yang dimainkan dengan cara mengikatkan sebuah bola ke tiang dengan tali. Ketika bola dipukul, ia akan berputar mengelilingi tiang. Kemudian yang menjadi pertanyaan, ke arah mana percepatan bola, dan apa yang menyebabkan percepatan itu?

Percepatan menunjuk arah horizontal yang menuju pusat lintasan melingkar bola (bukan ke puncak tiang).



**Gambar 4.21** Gerak sebuah benda membentuk ayunan konikal.

Gaya yang menyebabkan percepatan mungkin tidak jelas pada saat pertama kali, karena tampaknya tidak ada gaya yang langsung mempunyai arah horizontal. Tetapi resultan gayalah (dalam hal ini jumlah  $m.g$  dan  $F_T$ ) yang pasti menunjuk arah percepatan. Komponen vertikal tegangan tali mengimbangi berat bola,  $m.g$ . Komponen horizontal tegangan tali,  $F_{Tx}$  adalah gaya yang menghasilkan percepatan sentripetal menuju pusat.

### 3. Bola yang Berputar Membentuk Lingkaran Vertikal

Gambar 4.22 menunjukkan sebuah benda diikat dengan seutas tali yang diputar membentuk lingkaran vertikal. Bagaimanakah menentukan laju minimum bola pada puncak lintasannya sehingga bola itu bisa terus bergerak dalam lingkaran?

Pada saat bola berada di puncak (titik A), dua gaya bekerja pada bola, yaitu gaya berat  $m.g$ , dan gaya tegangan,  $F_{TA}$  yang diberikan tali pada titik A. Keduanya bekerja dengan arah ke bawah, dan jumlah vektornya memberikan percepatan sentripetal  $a_s$  kepada bola. Berdasarkan Hukum II Newton, untuk arah vertikal dengan memilih arah ke bawah (menuju pusat) positif berlaku:

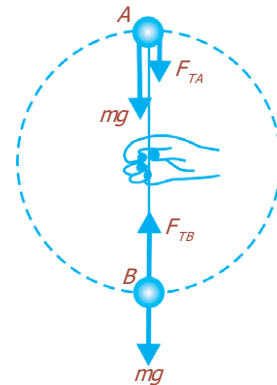
$$\sum F_s = m.a_s$$

$$F_{TA} + m.g = m \frac{v_A^2}{R} \dots\dots\dots (4.24)$$

Persamaan (4.24) menunjukkan bahwa gaya gravitasi dan tegangan tali bersama-sama memberikan percepatan sentripetal. Gaya tegangan  $F_{TA}$  pada A akan menjadi bertambah besar jika  $v_A$  (laju bola di puncak lingkaran) dibuat lebih besar, sebagaimana telah diperkirakan. Tetapi yang ditanyakan adalah laju minimum untuk menjaga agar bola tetap bergerak dalam lingkaran. Tali akan tetap tegang selama ada tegangan padanya, tetapi jika tegangan hilang (karena  $v_A$  terlalu kecil) tali akan melengkung, dan bola akan keluar dari lintasannya. Dengan demikian, laju minimum akan terjadi jika  $F_{TA} = 0$ , sehingga kita dapatkan:

$$m.g = m \frac{v_A^2}{R}$$

$$v_A = \sqrt{g.R} \dots\dots\dots (4.25)$$



**Gambar 4.22** Gerak sebuah benda berputar (lingkaran vertikal).



Sumber: *Kamus Visual*, PT Bhuana Ilmu Populer, 2004

**Gambar 4.23** Dop sepeda berputar membentuk lingkaran vertikal.

Di mana  $v_A$  adalah laju minimum di puncak lingkaran jika bola harus meneruskan gerakanya dalam lintasan lingkaran.

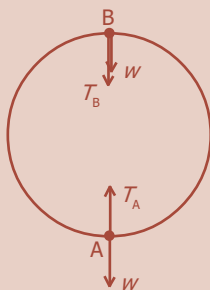
Sementara itu, di bagian bawah lingkaran, tali memberikan gaya tegangan  $F_{TB}$  ke atas, sementara gaya gravitasi bekerja ke bawah. Sehingga, Hukum II Newton, untuk arah ke atas (menuju pusat lingkaran) sebagai arah positif, didapatkan:

$$\begin{aligned}\sum F_s &= m \cdot a_s \\ F_{TB} - m \cdot g &= \frac{v_B^2}{R} \dots\dots\dots (4.24)\end{aligned}$$

Laju  $v_B$  diketahui dua kali lipat laju  $v_A$ . Dalam hal ini, laju berubah karena gravitasi bekerja pada bola di semua titik sepanjang lintasan.

Kita tidak bisa dengan mudah menentukan  $F_{TB}$  sama dengan  $mv_B^2/R$ , karena persamaan terakhir tersebut (untuk menentukan  $F_{TB}$ ) menunjukkan resultan gaya pada bola dalam arah radial, sehingga dalam hal ini juga melibatkan gravitasi. Jelas bahwa tegangan tali tidak hanya memberikan percepatan sentripetal, tetapi harus lebih besar dari  $m \cdot a_s$  untuk mengimbangi gaya gravitasi ke bawah.

#### Uji Kemampuan 4.6



Sebuah benda bermassa 500 g diikat pada tali yang panjangnya 20 cm. Ujung yang lain diputar dengan kelajuan linier 2 m/s sehingga membentuk lingkaran vertikal. Tentukan tegangan tali!

#### Kegiatan

Tujuan : Mengamati pengaruh gaya terhadap benda yang bergerak lurus.  
Alat dan bahan : Satu set alat konsep gaya yang terdiri atas tabung kompresor pemompa angin, sumber tegangan, karet elastis, bidang prisma sisi tiga berlubang kecil tempat keluar angin, dan dinding pemantul serta per.

#### Cara Kerja:

1. Hubungkan prisma bantalan penyemprot dengan penyemprot angin, dan hubungkan penyemprot angin dengan sumber listrik yang sesuai (220 volt).

2. Pasang sistem pada posisi *on*, dan angin akan keluar dari pori-pori prisma.
3. Letakkan pelat bersudut berbeban di atas prisma bantalan, dan beban ini dihubungkan dengan dinding di ujung prisma dengan karet tipis panjang atau kain elastis.
4. Tarik benda berbeban ke kanan sedikit sampai jarak tertentu dan lepaskan, maka benda itu akan bergerak di atas bantalan angin di sepanjang permukaan prisma. Amati kondisi gerak benda berbeban itu dengan mengukur kelajuannya (ukur  $s$  dan  $t$ ).
5. Ulangi langkah 3 sampai dengan 4 dengan mengubah besar beban.
6. Ulangi langkah 3 sampai dengan 5 dengan mengubah besar tarikan.
7. Catat semua data pengamatan dan masukkan ke dalam tabel berikut ini.

Massa beban ( $m$ )	$s$	$t$	$a = 2st^{-2}$	$F = ma$	$x$	$F = -kx$	Ket

**Diskusi:**

1. Apa yang dapat kalian simpulkan dari kegiatan tersebut?
2. Apa yang menyebabkan benda dapat bergerak? Jelaskan dengan singkat!

## Percikan Fisika



### Mengambang di Angkasa

Sepertinya, astronaut yang sedang berjalan di ruang angkasa tidak dipengaruhi oleh gaya yang bekerja pada tubuhnya. Sebenarnya, ia terus-menerus dalam keadaan jatuh karena pengaruh gaya tarik (gravitasi) bumi. Namun, pada waktu yang bersamaan, momentum ke depannya, menyebabkan timbulnya kecenderungan untuk bergerak terus mengikuti garis lurus. Akibat keseluruhannya adalah bahwa ia bergerak melalui orbit bundar mengitari Bumi. Jika kecepatannya bertambah, ia akan terlempar melayang menjauhi Bumi, ke angkasa lepas.

## Fiesta

Fisikawan Kita



### Isaac Newton (1643 - 1727)

Dikenal sebagai ahli ilmu pasti dan ilmu alam asal Inggris. Ia dianggap sebagai salah satu ilmuwan terbesar. Ia menemukan Hukum Gravitasi dan Hukum Gerak Newton. Hukum Gerak Newton merupakan hukum dasar dinamika yang merumuskan pengaruh gaya terhadap perubahan gerakan benda. Selain itu, Newton menulis beberapa buku, di antaranya *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Prinsip Matematika dari Filosofi Natural 1687).

Pada tahun 1668 Newton berhasil membuat teleskop yang menggunakan cermin untuk pertama kali. Newton kemudian dikenal menjadi peletak dasar teori teleskop refleksi modern.

## Kilas Balik

- \* Gaya merupakan besaran yang menyebabkan benda bergerak.
- \* Massa suatu benda adalah ukuran kelembaman (inersia) dari benda tersebut.
- \* Hukum I Newton menyatakan setiap benda tetap berada dalam keadaan diam atau bergerak dengan laju tetap sepanjang garis lurus, kecuali jika diberi gaya total yang tidak nol.

Hukum I Newton sering disebut *Hukum Kelembaman*.

- \* Hukum II Newton menyatakan percepatan sebuah benda berbanding lurus dengan gaya total yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya, yang dirumuskan:

$$F = m \cdot a$$

Arah percepatan sama dengan arah gaya total yang bekerja padanya.

- \* Hukum III Newton menyatakan ketika suatu benda memberikan gaya pada benda kedua, benda kedua tersebut memberikan gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah terhadap benda pertama.

Hukum III Newton sering disebut sebagai *Hukum Aksi-Reaksi*.

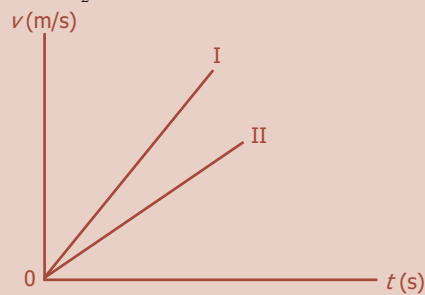
- \* Satuan gaya dalam SI adalah Newton. Satu newton (1 N) adalah gaya resultan yang membuat massa 1 kg mengalami percepatan 1 m/s<sup>2</sup>.
- \* Percepatan gravitasi di Bumi berbeda dengan percepatan di Bulan. Demikian pula berat suatu benda di Bumi, Bulan, atau planet lain berbeda.
- \* Berat suatu benda adalah gaya gravitasi yang bekerja ke arah bawah pada benda tersebut.

## Uji Kompetensi

### A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

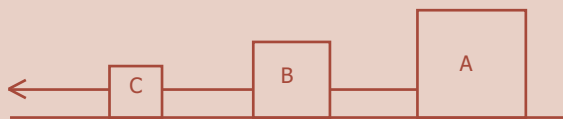
1. Sebuah mobil massanya 5 ton dari keadaan diam bergerak hingga 50 sekon, mencapai kecepatan 72 km/jam. Gaya pada mobil tersebut adalah ... .
  - a. 200 N
  - d. 4.000 N
  - b. 2.000 N
  - e. 5.000 N
  - c. 2.500 N

2. Dua buah benda massa  $m_1$  dan  $m_2$  dipengaruhi oleh gaya yang besarnya sama, sehingga timbul percepatan  $a_1$  dan  $a_2$ . Apabila grafik I untuk  $m_1$  dan grafik II untuk  $m_2$ , maka ... .



- a.  $a_1 < a_2$  dan  $m_1 < m_2$
  - b.  $a_1 < a_2$  dan  $m_1 > m_2$
  - c.  $a_1 > a_2$  dan  $m_1 < m_2$
  - d.  $a_1 > a_2$  dan  $m_1 > m_2$
  - e.  $a_1 > a_2$  dan  $m_1 = m_2$
3. Sebuah mobil massanya 1,5 ton bergerak dengan kelajuan 72 km/jam. Mobil itu tiba-tiba direm dengan gaya pengereman sebesar  $F = 2,4 \times 10^4$  N hingga berhenti. Jarak yang ditempuh mobil tersebut mulai direm sampai berhenti adalah ... .
  - a. 6 m
  - b. 7,5 m
  - c. 10 m
  - d. 12,5 m
  - e. 15 m
4. Sebuah benda massanya 20 kg terletak pada bidang miring dengan sudut kemiringan  $\alpha$  ( $\tan \alpha = \frac{3}{4}$ ). Jika percepatan gravitasi setempat  $10 \text{ m/s}^2$ , maka besar gaya normal bidang terhadap benda adalah ... .
  - a. 100 N
  - b. 120 N
  - c. 150 N
  - d. 200 N
  - e. 250 N

5. Sebuah benda yang massanya 1 kg bergerak dengan kecepatan 20 m/s, kemudian diberi gaya tetap sebesar 4 N, searah dengan gerak benda tersebut. Kecepatan benda setelah 10 s adalah ... .
- 15 m/s
  - 20 m/s
  - 25 m/s
  - 32 m/s
  - 60 m/s
6. Benda bermassa 12 kg terletak pada bidang miring yang licin dan sangat panjang dengan sudut kemiringan  $30^\circ$  terhadap bidang horizontal ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ). Jika benda tersebut dipengaruhi gaya  $F = 84 \text{ N}$  sejajar bidang miring ke arah puncak selama 10 s, maka jarak yang ditempuh benda itu adalah ... .
- 40 m
  - 86 m
  - 124 m
  - 140 m
  - 640 m
7. Pada sistem gambar berikut ini, massa benda A, B, dan C masing-masing ialah 5 kg, 3 kg, dan 2 kg ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ) serta lantai licin. Jika gaya yang bekerja pada arah mendatar  $F = 40 \text{ N}$ , maka tegangan tali AB dan BC masing-masing adalah ... .

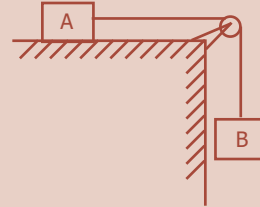


- 20 N dan 8 N
  - 20 N dan 12 N
  - 24 N dan 20 N
  - 24 N dan 28 N
  - 28 N dan 30 N
8. Benda A dan B masing-masing massanya 9 kg dan 6 kg tergantung pada ujung-ujung tali melalui sebuah katrol tetap yang licin. Percepatan gerak benda A maupun B serta tegangan talinya adalah ... .
- $1 \text{ m/s}^2$  dan 58 N
  - $1 \text{ m/s}^2$  dan 68 N
  - $2 \text{ m/s}^2$  dan 70 N
  - $2 \text{ m/s}^2$  dan 72 N
  - $3 \text{ m/s}^2$  dan 80 N



9. Pada sistem gambar berikut ini, bidang meja licin. Massa benda A dan B masing-masing ialah 4 kg dan 6 kg ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ). Percepatan sistem (benda-benda) dan tegangan talinya adalah ... .

- 4  $\text{m/s}^2$  dan 20 N
- 4  $\text{m/s}^2$  dan 24 N
- 6  $\text{m/s}^2$  dan 24 N
- 6  $\text{m/s}^2$  dan 28 N
- 8  $\text{m/s}^2$  dan 30 N



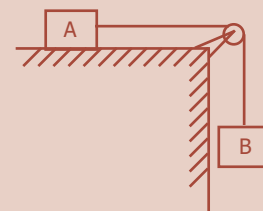
10. Seseorang yang massanya 60 kg menaiki lift yang sedang bergerak, ternyata gaya tekan normal bidang terhadap orang itu sebesar 720 N. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , dapat disimpulkan bahwa ... .

- lift bergerak ke atas,  $a = 2 \text{ m/s}^2$
- lift bergerak ke atas,  $a = 3 \text{ m/s}^2$
- lift bergerak ke bawah,  $a = 2 \text{ m/s}^2$
- lift bergerak ke bawah,  $a = 3 \text{ m/s}^2$
- lift bergerak ke bawah,  $a = 4 \text{ m/s}^2$

**B. Jawablah dengan singkat dan benar!**

- Sebuah mobil massanya 1 ton, selama 4 sekon kecepatannya bertambah secara beraturan dari 10 m/s menjadi 18 m/s. Tentukan besar gaya yang mempercepat mobil itu!
- Sebuah benda bermassa 20 kg terletak pada puncak bidang miring yang licin dengan sudut kemiringan  $30^\circ$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:
  - berat benda,
  - gaya normal benda,
  - percepatan benda menuruni bidang,
  - jarak tempuh benda selama 4 sekon!
- Dua beban masing-masing massanya 1,2 kg dan 1,8 kg diikat dengan seutas tali melalui katrol tanpa gesekan. Kedua benda dilepas dari ketinggian sama yaitu 4 m dari tanah. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:
  - percepatan benda,
  - tegangan tali,
  - waktu yang diperlukan beban itu sampai di tanah!

4. Benda A massa 3 kg diletakkan di atas meja yang licin, dihubungkan dengan benda B massa 2 kg menggunakan tali melalui sebuah katrol yang licin. Hitung percepatan sistem benda itu dan tegangan talinya!



5. Seseorang beratnya 600 N menaiki lift yang bergerak turun dengan percepatan  $3 \text{ m/s}^2$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan besar gaya tekan normal bidang lift terhadap orang tersebut!

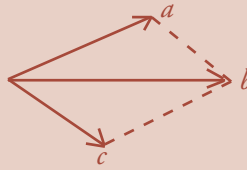
## Uji Kompetensi Semester 1

### A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

- Berikut ini yang termasuk kelompok besaran pokok adalah ...
  - panjang, massa, dan berat
  - gaya, percepatan, dan kecepatan
  - suhu, intensitas cahaya, dan kecepatan
  - suhu, kuat arus, dan massa
  - massa, volume, dan daya
- Yang termasuk kelompok besaran turunan adalah ...
  - tekanan, waktu, dan suhu
  - energi, kecepatan, dan tekanan
  - panjang, massa, dan waktu
  - kuat arus, massa, dan suhu
  - massa, energi, dan daya
- Satu joule setara dengan ...
  - $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
  - $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
  - $\text{N} \cdot \text{s}^{-1}$
  - $\text{kg}^2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^2$
  - $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
- Besaran berikut ini yang memiliki dimensi sama adalah ...
  - daya dan gaya
  - massa dan berat
  - usaha dan energi potensial
  - tekanan dan energi kinetik
  - kecepatan dan percepatan
- Dimensi dari massa jenis zat adalah ...
  - $[\text{MLT}^{-2}]$
  - $[\text{ML}^{-2}\text{T}^{-2}]$
  - $[\text{ML}^{-3}]$
  - $[\text{ML}^{-2}]$
  - $[\text{MLT}]$
- Berikut ini yang termasuk kelompok besaran vektor adalah ...
  - gaya, jarak, dan kecepatan
  - tekanan, jarak, dan kecepatan
  - perpindahan, kecepatan, dan kelajuan
  - perpindahan, laju, dan percepatan
  - gaya, percepatan, dan perpindahan
- Jika sebuah vektor kecepatan  $v = 10 \text{ m/s}$  diuraikan menjadi dua buah vektor yang saling tegak lurus, dan salah satu vektor uraiannya membentuk sudut  $60^\circ$  dengan vektor  $v$ , maka besar vektor uraiannya masing-masing adalah ...
  - $5 \text{ m/s}$  dan  $5\sqrt{3} \text{ m/s}$
  - $5 \text{ m/s}$  dan  $5\sqrt{2} \text{ m/s}$
  - $10 \text{ m/s}$  dan  $10\sqrt{3} \text{ m/s}$
  - $5 \text{ m/s}$  dan  $5\sqrt{6} \text{ m/s}$
  - $10 \text{ m/s}$  dan  $1 \text{ m/s}$
- Dua buah vektor masing-masing 5 satuan dan 10 satuan. Jumlah dua vektor berikut yang tidak mungkin adalah ...
  - 3 satuan
  - 5 satuan
  - 7 satuan
  - 14 satuan
  - 20 satuan

9. Gambar vektor berikut ini menunjukkan hubungan ... .

- a.  $\vec{c} = \vec{b} - \vec{a}$
- b.  $\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$
- c.  $\vec{c} = \vec{b} + \vec{a}$
- d.  $\vec{b} = \vec{c} - \vec{a}$
- e.  $\vec{b} = \vec{a} - \vec{c}$



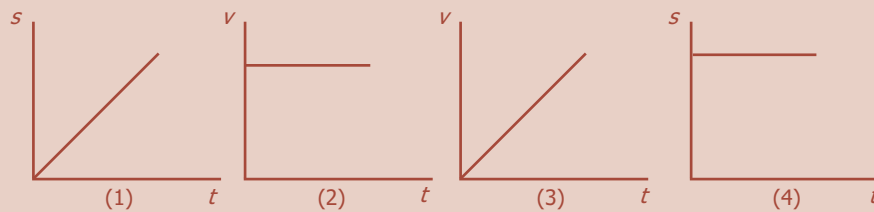
10. Dua vektor gaya  $\vec{F}_1$  dan  $\vec{F}_2$  masing-masing sebesar 6 N dan 10 N bertitik tangkap sama. Jika kedua vektor gaya tersebut membentuk sudut  $60^\circ$ , maka besar resultan gayanya adalah ... .

- a. 14 N
- b. 16 N
- c. 18 N
- d. 20 N
- e. 24 N

11. Pernyataan berikut benar untuk benda yang bergerak lurus beraturan adalah ...

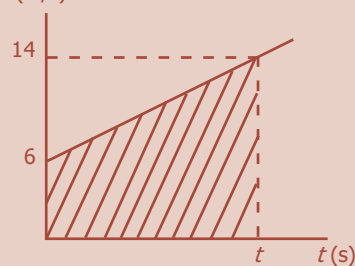
- a. gerak lurus yang kecepatannya berubah-ubah
- b. gerak lurus yang kecepatannya selalu bertambah
- c. gerak lurus yang percepatannya berubah-ubah
- d. gerak lurus yang kecepatannya tetap
- e. gerak lurus yang percepatannya tetap

12. Diagram  $s$ - $t$  dan  $v$ - $t$  pada gambar berikut ini yang menunjukkan grafik dari gerak lurus beraturan (GLB) adalah ... .



- a. (1)
- b. (2)
- c. (1) dan (2)
- d. (2) dan (3)
- e. (3) dan (4)

13.  $v(\text{m/s})$

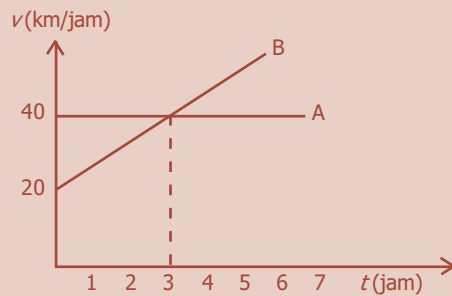


- a.  $2 \text{ m/s}^2$
- b.  $4 \text{ m/s}^2$
- c.  $8 \text{ m/s}^2$
- d.  $18 \text{ m/s}^2$
- e.  $24 \text{ m/s}^2$

Gerak sepeda motor menghasilkan grafik hubungan kecepatan ( $v$ ) terhadap waktu ( $t$ ) tampak seperti pada gambar di samping.

Jika luas daerah grafik (yang diarsir) 40 m, maka percepatan sepeda motor adalah ... .

14. Kecepatan sebuah mobil berkurang secara beraturan dari 25 m/s menjadi 10 m/s, sepanjang jarak 87,5 m. Perlambatan mobil tersebut adalah ... .
- 1 m/s<sup>2</sup>
  - 2 m/s<sup>2</sup>
  - 3 m/s<sup>2</sup>
  - 4 m/s<sup>2</sup>
  - 5 m/s<sup>2</sup>
15. Grafik berikut ini menunjukkan hubungan antara kelajuan dan waktu untuk mobil A dan mobil B.

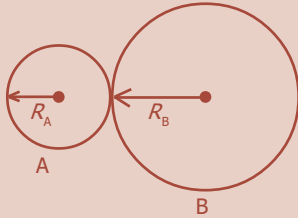


Jarak yang ditempuh mobil A sama dengan mobil B setelah bergerak selama ... .

- 1,3 jam
  - 1,5 jam
  - 3 jam
  - 6 jam
  - 7 jam
16. Gerak jatuh bebas termasuk ... .
- gerak lurus
  - gerak lurus beraturan
  - gerak lurus berubah beraturan
  - gerak parabola
  - gerak rotasi
17. Sebuah benda dilepas dari suatu menara tanpa kecepatan awal, ternyata benda sampai di tanah dengan kecepatan 30 m/s. Tinggi menara dari tanah adalah ...
- 15 m
  - 30 m
  - 45 m
  - 75 m
  - 90 m
18. Sebuah benda jatuh bebas dari ketinggian 80 m di atas tanah dengan percepatan 10 m/s<sup>2</sup>. Jika gesekan udara diabaikan, benda jatuh tepat menyentuh tanah setelah ... .
- 2 sekon
  - 3 sekon
  - 4 sekon
  - 8 sekon
  - 10 sekon
19. Sebuah peluru ditembakkan vertikal ke atas dari tanah, ternyata tinggi maksimum yang dicapai peluru di atas tanah ialah 80 m ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ). Kecepatan peluru dan tinggi kedudukan peluru di atas tanah setelah melesat selama 2 s adalah ... .
- 15 m/s dan 40 m
  - 20 m/s dan 60 m
  - 30 m/s dan 50 m
  - 25 m/s dan 60 m
  - 40 m/s dan 60 m

20. Dua orang anak bermain dengan melempar bola ke atas dari ketinggian yang sama dengan perbandingan kecepatan awal 1 : 2. Perbandingan tinggi maksimum kedua bola diukur dari ketinggian mula-mula adalah ... .
- 1 : 2
  - 1 : 3
  - 1 : 4
  - 2 : 3
  - 3 : 4
21. Pada gerak melingkar beraturan, yang tidak tetap adalah ... .
- kecepatan linier
  - kecepatan anguler
  - jari-jari putaran
  - arah putaran
  - periode putaran
22. Bila sebuah benda bergerak melingkar beraturan, maka ... .
- percepatan normal dan percepatan singgung sama dengan nol
  - percepatan normal dan percepatan singgung tidak sama dengan nol
  - percepatan normal nol dan percepatan singgung tidak sama dengan nol
  - percepatan singgung nol dan percepatan normal tidak sama dengan nol
  - kecepatan singgung tetap
23. Apabila suatu titik bergerak melingkar dengan periode tetap sebesar 1/8 sekon, maka titik itu bergerak melingkar ... .
- $\frac{1}{8}$  putaran tiap sekon, dengan laju anguler berubah
  - satu putaran selama 8 sekon, dengan laju tetap
  - delapan putaran tiap sekon, dengan laju anguler tetap
  - delapan putaran tiap sekon, dengan laju anguler berubah
  - delapan putaran tiap sekon, setelah itu diam
24. Pada suatu gerak melingkar beraturan, hubungan antara kecepatan sudut ( $\omega$ ) dan frekuensi ( $f$ ) atau periode ( $T$ ) adalah ... .
- $\omega = 2\pi T$
  - $\omega = \frac{2\pi}{f}$
  - $\omega = \frac{f}{2\pi}$
  - $\omega = 2\pi f$
  - $\omega = \frac{f}{2\pi}$
25. Sebuah satelit mengorbit di atas permukaan bumi pada ketinggian 600 km. Jika waktu yang diperlukan untuk menempuh satu kali putaran 90 menit, maka kecepatan satelit adalah ... .
- 540 m/s
  - 590 m/s
  - 598 m/s
  - 690 m/s
  - 698 m/s

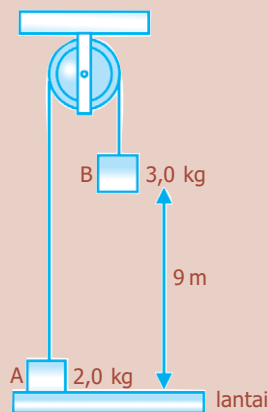
26. Roda A dan B bersinggungan tampak seperti pada gambar di bawah ini. Jika jari-jari roda A dan B masing-masing 0,5 m dan 1 m, serta kecepatan sudut roda A 20 rad/s, maka kecepatan sudut roda B adalah ... .



- a. 0,5 rad/s  
b. 10 rad/s  
c. 15 rad/s  
d. 20 rad/s  
e. 25 rad/s
27. Dalam gerak melingkar beraturan hubungan antara kecepatan linier ( $v$ ), kecepatan sudut ( $\omega$ ), dan jari-jari ( $R$ ) dinyatakan dengan persamaan ... .
- a.  $\omega = v.R$   
b.  $\omega = \frac{v^2}{R}$   
c.  $v = \omega.R$   
d.  $v = \frac{R}{\omega}$   
e.  $v = \frac{\omega}{R}$
28. Sebuah benda bergerak melingkar beraturan dengan kecepatan sudut 120 putaran tiap menit dengan jari-jari 10 cm. Kecepatan linier benda tersebut adalah ... .
- a. 0,628 m/s  
b. 1,256 m/s  
c. 6,28 m/s  
d. 12,5 m/s  
e. 125,6 m/s
29. Perbandingan kecepatan sudut jarum penunjuk jam, menit, dan sekon pada suatu arloji adalah ... .
- a. 1 : 6 : 12  
b. 1 : 12 : 18  
c. 1 : 12 : 36  
d. 1 : 12 : 360  
e. 1 : 12 : 720
30. Aliran air dengan kecepatan 1 m/s memutar sebuah kincir yang bergaris tengah 2 m. Kecepatan sudut kincir air adalah ... .
- a. 0,05 rad/s  
b. 0,1 rad/s  
c. 1 rad/s  
d. 5 rad/s  
e. 10 rad/s
31. Pada saat kalian naik sebuah bus yang sedang melaju cepat tiba-tiba direm dan kalian akan terdorong ke depan. Hal ini terjadi karena ... .
- a. gaya tarik bus  
b. gaya dorong bus  
c. gaya pengerem bus  
d. sifat kelembaman tubuh kalian  
e. pengurangan kecepatan bus yang mendadak

32. Sebuah benda bermassa 2 kg dipengaruhi gaya tetap sebesar 5 N. Percepatan yang timbul pada benda adalah ... .
- $0,1 \text{ m/s}^2$
  - $0,25 \text{ m/s}^2$
  - $2,5 \text{ m/s}^2$
  - $3,0 \text{ m/s}^2$
  - $4,0 \text{ m/s}^2$
33. Sebuah benda yang massanya 1 kg bergerak dengan kecepatan 20 m/s, kemudian diberi gaya tetap 4 N searah dengan gerak benda tersebut. Kecepatan benda setelah 10 sekon adalah ... .
- 15 m/s
  - 20 m/s
  - 25 m/s
  - 32 m/s
  - 60 m/s
34. Sebuah mobil melaju dengan kecepatan 72 km/jam direm dengan gaya 5.000 N. Jika massa mobil 1.000 kg, maka mobil akan berhenti setelah ... .
- 1 sekon
  - 2 sekon
  - 3 sekon
  - 4 sekon
  - 5 sekon
35. Sebuah benda yang massanya 3 kg digantung dengan tali. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka besar tegangan tali adalah ... .
- 0,2 N
  - 3 N
  - 30 N
  - 33 N
  - 300 N
36. Dua buah benda A dan B masing-masing massanya 2 kg dan 3 kg, digantung pada sebuah katrol. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka percepatan gerak sistem adalah ...
- $1 \text{ m/s}^2$
  - $2 \text{ m/s}^2$
  - $3 \text{ m/s}^2$
  - $4 \text{ m/s}^2$
  - $5 \text{ m/s}^2$

37.



Dua buah benda A dan B masing-masing dengan massa 4 kg dan 7 kg diikat dengan tali pada katrol seperti gambar di samping. Mula-mula benda B ditahan pada ketinggian 3 m kemudian dilepaskan. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , kecepatan B saat menyentuh tanah adalah ... .

- 2,73 m/s
- 3,52 m/s
- 4,05 m/s
- 10,92 m/s
- 16,38 m/s

38. Sebuah benda dengan berat  $w$  meluncur pada bidang miring yang licin. Jika sudut kemiringan bidang  $\alpha$ , maka komponen gaya berat yang memengaruhi besar percepatan benda adalah ... .
- $\frac{w}{\sin \alpha}$
  - $\frac{w}{\cos \alpha}$
  - $w \tan \alpha$
  - $w \cos \alpha$
  - $w \sin \alpha$
39. Seorang anak berada di dalam lift yang sedang bergerak ke atas dengan percepatan  $5 \text{ m/s}^2$ . Saat itu gaya tekan normal bidang terhadap anak tersebut adalah ... .
- $\frac{1}{2}$  kali gaya beratnya
  - sama dengan gaya beratnya
  - $\frac{3}{2}$  kali gaya beratnya
  - 2 kali gaya beratnya
  - 3 kali gaya beratnya
40. Dua buah benda A dan B masing-masing massanya 2 kg dan 1 kg dihubungkan dengan tali dan ditarik dengan gaya tetap 24 N, tampak seperti pada gambar. Besar tegangan tali penghubung kedua benda adalah ... .



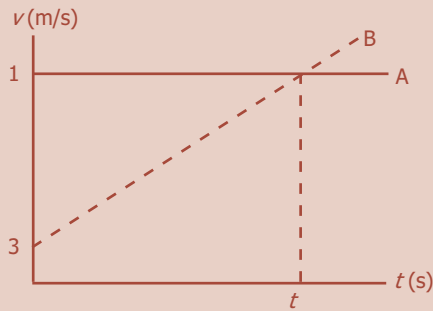
- 8 N
- 10 N
- 12 N
- 15 N
- 16 N

**B. Jawablah dengan singkat dan benar!**

- Sebuah benda bergerak dengan energi kinetik 10 joule. Nyatakan dalam satuan pokok!
- Dua buah vektor gaya saling tegak lurus satu sama lain yang menghasilkan resultan 10 N. Jika salah satu vektor gaya tersebut 6 N, tentukan besar vektor gaya yang lain!
- Dua vektor gaya masing-masing besarnya sama dan mengapit sudut  $\alpha$ . Jika resultan keduanya juga sama dengan besar masing-masing gaya, maka tentukan besar sudut  $\alpha$ !
- Sebuah mobil mula-mula diam, kemudian bergerak makin cepat dan dianggap gerak lurus berubah beraturan dengan percepatan  $4 \text{ m/s}^2$ . Pada saat detik ke-10:
  - hitung kecepatan mobil,
  - lukislah grafik kecepatan terhadap waktu,
  - lukislah grafik perpindahan terhadap waktu!

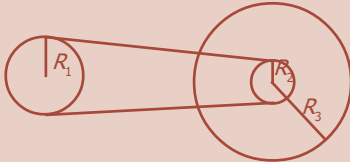


5. Sebuah partikel bergerak melingkar melakukan 120 putaran tiap menit dengan jari-jari 10 cm. Tentukan:
  - a. kecepatan sudutnya,
  - b. kecepatan liniernya!
6. Dua buah mobil A dan B bergerak lurus dan daerah grafiknya tampak seperti pada gambar di bawah ini.



Hitung:

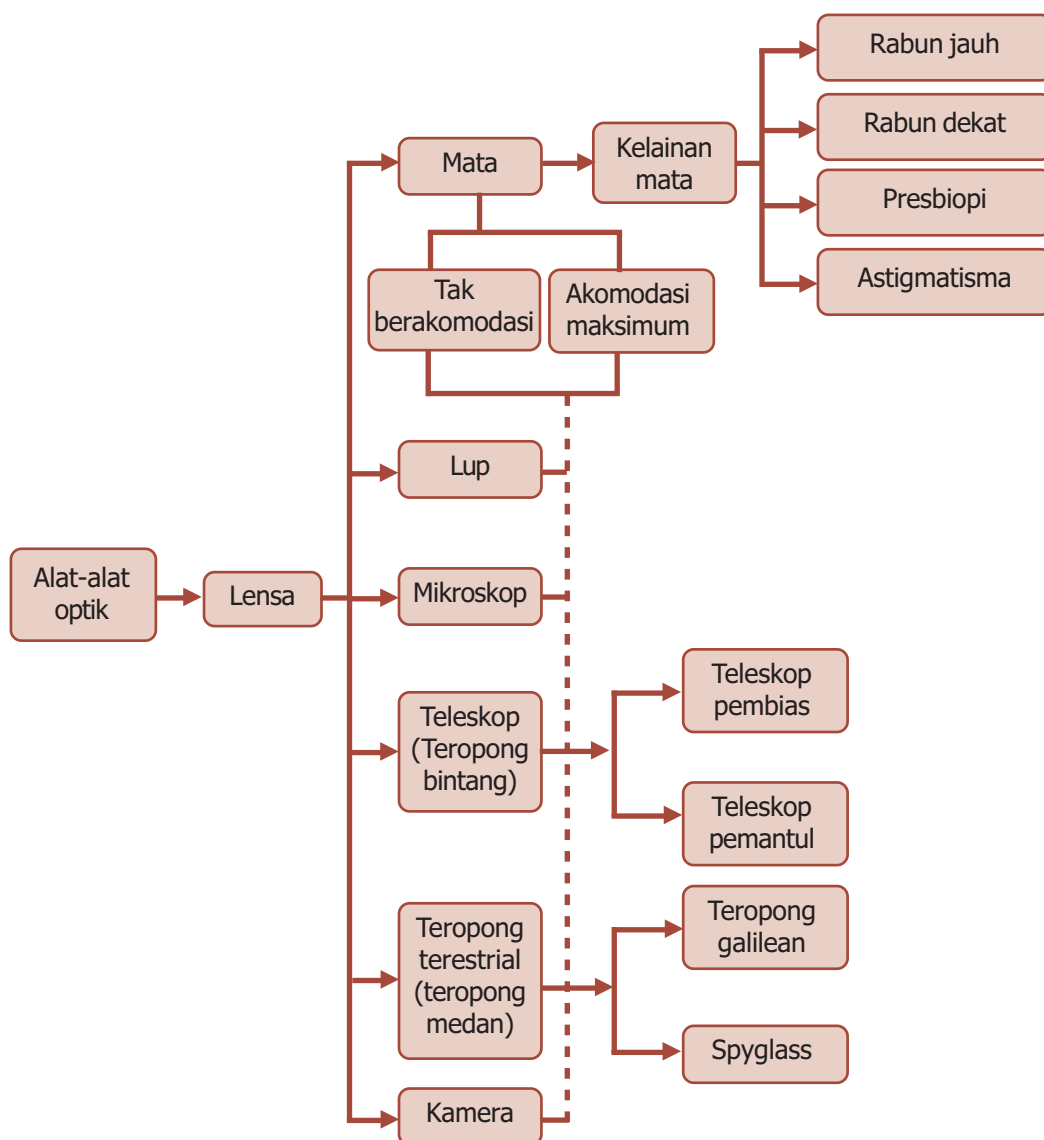
- a. jarak kedudukan saat kedua mobil berdampingan,
  - b. kecepatan mobil A dan B saat berdampingan!
7.
 

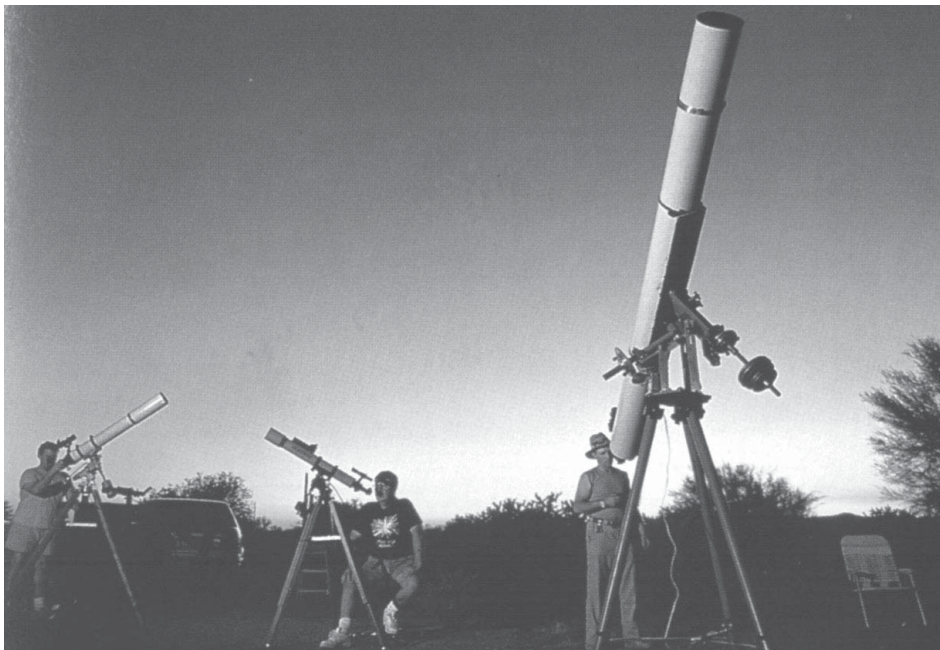


Roda dari sebuah sepeda jari-jarinya 20 cm, jari-jari gir muka dan belakang berturut-turut 6 cm dan 3 cm. Jika gir muka kecepatan sudutnya tetap 4 rad/s, tentukan lama orang naik sepeda tanpa istirahat setelah menempuh jarak 5,76 km!
8. Sebuah benda massa 10 kg berada pada bidang datar yang licin dan dikerjakan gaya tetap 50 N. Tentukan kecepatan dan jarak yang ditempuh benda selama 6 sekon!
9. Sebuah benda massa 20 kg terletak pada bidang miring yang licin yang sudut kemiringannya  $30^\circ$ . Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , hitunglah:
  - a. gaya normal bidang terhadap benda,
  - b. percepatan benda,
  - c. jarak yang ditempuh benda setelah 4 sekon!
10. Dua beban masing-masing massanya 2 kg dan 3 kg dihubungkan dengan tali melalui sebuah katrol. Kedua benda dilepas dari ketinggian yang sama yaitu 4 m dari tanah. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , tentukan:
  - a. percepatan sistem,
  - b. tegangan tali,
  - c. waktu yang diperlukan beban sampai tanah!

# PETA KONSEP

## Bab 5 Alat-Alat Optik





- Teleskop bintang untuk mengamati benda-benda di langit.

Sumber: *Ensiklopedia Iptek*, PT Lentera Abadi, 2005

Kalian tentu sering melihat bintang-bintang di langit. Bintang-bintang itu tampak kecil sekali karena letaknya jauh dari kita. Untuk melihat bintang dengan jelas maka diperlukan sebuah teleskop bintang. Bagaimana teleskop dapat digunakan untuk melihat benda-benda yang jaraknya jauh? Hal ini karena ada komponen alat-alat optik dalam teleskop yang berfungsi memperbesar benda. Nah, tahukah kalian alat-alat lain yang cara kerjanya seperti prinsip teleskop?

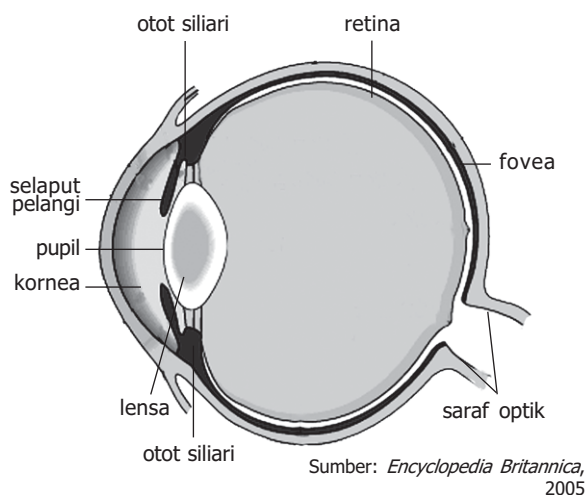
## Kata Kunci

kamera, lensa, lup, mata, mikroskop, teleskop

Ketika di SMP, kalian sudah mempelajari tentang cahaya dan perambatannya, bagaimana cahaya itu dipantulkan, dibiaskan, dan mengalami dispersi. Pada bab ini akan dipelajari berbagai alat yang bekerja berdasarkan prinsip pembiasan dan pemantulan cahaya yang disebut *alat optik*. Dengan alat optik, kita dapat melihat benda atau makhluk hidup yang ukurannya sangat kecil, misalnya bakteri dan virus, dan dapat melihat dengan jelas benda-benda yang sangat jauh di luar angkasa seperti bulan, bintang, dan benda langit lainnya, serta merekam beberapa kejadian penting dalam bentuk film. Bagian utama dari alat optik adalah cermin atau lensa, karena prinsip kerjanya mengacu pada konsep pembiasan dan pemantulan cahaya.



### A. Mata Manusia



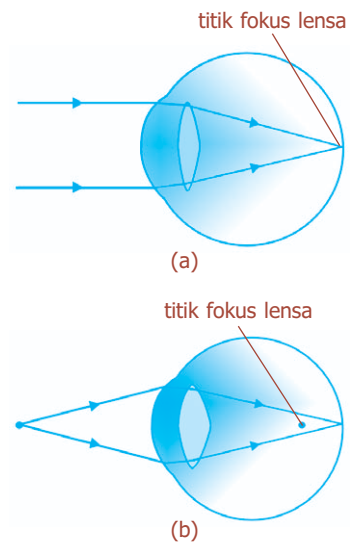
**Gambar 5.1** Diagram mata manusia.

Mata merupakan indra penglihatan dan merupakan organ yang dapat menangkap perubahan dan perbedaan cahaya. Organ ini bekerja dengan cara menerima, memfokuskan, dan mentransmisikan cahaya melalui lensa untuk menghasilkan bayangan objek yang dilihatnya. Struktur dasar mata manusia tampak seperti pada Gambar 5.1.

Mata merupakan volume tertutup di mana cahaya masuk melalui lensa (lensa mata). **Diafragma** berfungsi untuk mengatur banyaknya cahaya yang masuk ke mata sehingga objek akan tampak jelas dan mata tidak silau. **Pupil** sebagai lubang pada diafragma merupakan tempat/jalan masuknya cahaya, sehingga tidak ada cahaya yang dipantulkan darinya karena ini merupakan lubang, dan sangat sedikit cahaya dipantulkan kembali dari bagian dalam mata. **Retina** berada pada permukaan belakang berfungsi sebagai tempat jatuhnya bayangan. Retina terdiri atas serangkaian saraf dan alat penerima (reseptor) yang rumit, dinamakan dengan **sel batang** dan **sel kerucut** yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya menjadi sinyal listrik yang berjalan di sepanjang serabut saraf. Rekonstruksi

bayangan dari semua reseptor kecil ini terutama dilakukan di otak, walaupun beberapa analisis ternyata dilakukan pada jaringan hubungan saraf yang rumit pada retina itu sendiri. Di pusat retina ada daerah kecil yang disebut **fovea**, berdiameter sekitar 0,25 mm, di mana kerucut-kerucut tersusun rapat, bayangan paling tajam dan pemisahan warna paling baik ditemukan. Sistem saraf pada mata menganalisis sinyal untuk membentuk bayangan dengan kecepatan sekitar 30 per detik.

Lensa mata hanya sedikit membelokkan berkas cahaya. Umumnya pembiasan dilakukan di permukaan depan **kornea** (indeks bias = 1,376), yang juga berfungsi sebagai pelindung. Lensa mata berfungsi sebagai penyetel untuk pemfokusan pada jarak yang berbeda. Hal ini dilakukan oleh otot siliari yang mengubah kelengkungan lensa sehingga panjang fokusnya berubah, yang diilustrasikan seperti pada Gambar 5.1. Untuk pemfokusan pada benda jauh, otot akan rileks dan lensa memipih, sehingga berkas-berkas paralel terfokus pada titik fokus (retina), tampak seperti pada Gambar 5.2(a). Untuk pemfokusan pada benda dekat, otot berkontraksi, menyebabkan lensa mata mencembung sehingga jarak fokus menjadi lebih pendek, jadi bayangan benda yang dekat dapat difokuskan pada retina, di belakang titik fokus, tampak seperti pada Gambar 5.2(b). Kemampuan mata untuk mencembung atau memipihkan lensa mata ini disebut **daya akomodasi**.



**Gambar 5.2** Akomodasi oleh mata normal: (a) lensa rileks, terfokus pada jarak tak berhingga, (b) lensa menebal, terfokus pada benda dekat.

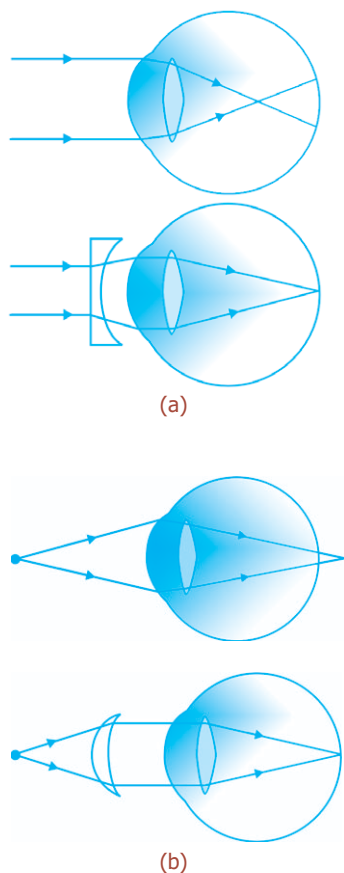
## 1. Mata Normal (Emetrop)

Jarak terdekat yang dapat difokuskan mata disebut **titik dekat** mata ( $PP = punctum proximum$ ). Untuk orang dewasa muda biasanya mempunyai titik dekat 25 cm, walaupun anak-anak sering kali bisa memfokuskan benda pada jarak 10 cm. Selanjutnya, semakin tua usia seseorang, kemampuan berakomodasi makin kurang dan titik dekat bertambah. Adapun jarak terjauh di mana benda masih dapat terlihat jelas disebut titik jauh ( $PR = punctum remotum$ ). Untuk **mata normal** adalah mata yang memiliki titik dekat  $PP = 25$  cm dan titik jauh  $PR =$  tak berhingga. Gambar 5.2 menunjukkan daya akomodasi pada mata normal.

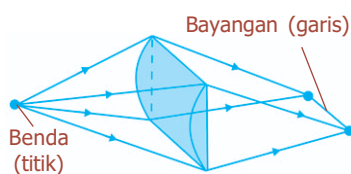
Mata “normal” lebih merupakan idealisasi daripada kenyataan. Sebagian besar populasi manusia memiliki mata yang tidak berakomodasi dalam kisaran normal yaitu 25 cm sampai tak berhingga, atau memiliki kelainan mata atau yang dikenal sebagai *cacat mata*.



Ketajaman mata seseorang salah satunya diukur dengan metode pengetesan menggunakan kartu Sneller, yaitu papan yang memiliki beberapa deret alfabet dengan ukuran yang bervariasi.



**Gambar 5.3** Memperbaiki kelainan mata dengan lensa: (a) mata rabun jauh dibantu dengan lensa cekung, (b) mata rabun dekat dibantu dengan lensa cembung.



**Gambar 5.4** Lensa silindris untuk mata astigmatisme.

Dua cacat mata yang umum adalah rabun jauh dan rabun dekat. Keduanya dapat ditolong dengan lensa, baik kacamata maupun lensa kontak.

## 2. Rabun Jauh (Miopi)

Mata miopi atau rabun jauh adalah mata yang hanya dapat memfokuskan benda pada jarak dekat. Titik jauh mata (PR) tidak berada pada tak berhingga tetapi jarak yang lebih dekat, sehingga benda jauh tidak terlihat jelas. Rabun jauh atau miopi biasanya disebabkan oleh lensa mata yang terlalu cembung, sehingga bayangan benda yang jauh terfokus (jatuh) di depan retina. Dengan menggunakan lensa divergen (cekung), dapat menyebabkan berkas sinar sejajar menyebar, sehingga memungkinkan berkas-berkas sinar biasanya terfokus pada retina, tampak seperti pada Gambar 5.3(a).

## 3. Rabun Dekat (Hipermetropi)

Hipermetropi atau rabun dekat adalah mata yang tidak dapat memfokuskan benda pada jarak dekat. Walaupun benda-benda jauh biasanya terlihat jelas, titik dekat (PP) agak lebih besar dari mata “normal” 25 cm, yang menyebabkan sulit membaca. Kelainan ini disebabkan lensa mata terlalu pipih sehingga bayangan benda yang dilihat terbentuk di belakang retina. Cacat mata ini dapat ditolong dengan lensa konvergen (cembung), tampak seperti pada Gambar 5.3(b).

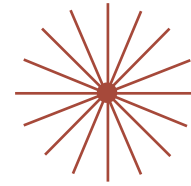
Cacat mata yang sama dengan hipermetropi adalah *presbiopi*, yaitu mata yang tidak dapat melihat dengan jelas pada jarak yang jauh maupun jarak baca mata normal. Hal ini karena daya akomodasinya sudah lemah akibat bertambahnya usia. Mata tua dapat ditolong dengan kacamata bifokal (kacamata berfokus dua, yaitu positif dan negatif).

## 4. Astigmatisma

Astigmatisma biasanya disebabkan oleh kornea atau lensa yang kurang bundar sehingga benda titik difokuskan sebagai garis pendek, yang mengaburkan bayangan. Hal ini dikarenakan kornea berbentuk sferis dengan bagian silindrisnya bertumpuk. Pada Gambar 5.4 menunjukkan lensa silindris memfokuskan titik menjadi garis yang paralel dengan sumbunya. Mata astigmatisma memfokuskan berkas pada bidang vertikal, katakanlah pada jarak yang lebih dekat dengan yang dilakukannya untuk berkas pada bidang horizontal. Astigmatisma dapat ditolong dengan menggunakan lensa silindris yang mengimbangnya.



Lensa untuk mata yang rabun jauh atau rabun dekat serta astigmatisme dibuat dengan permukaan sferis dan silindris yang bertumpuk, sehingga radius kelengkungan lensa korektif berbeda pada bidang yang berbeda. Astigmatisme diuji dengan melihat dengan satu mata pada pola seperti pada Gambar 5.5. Garis yang terfokus tajam tampak gelap, sementara yang tidak terfokus tampak lebih kabur atau abu-abu.



**Gambar 5.5** Pengujian untuk mata astigmatisme.

## Percikan Fisika



### Buta Warna

Pola bintang-bintang di samping berguna untuk menguji buta warna, yaitu suatu ketidakmampuan mata untuk membedakan warna-warna. Orang yang buta warna mengalami kekurangan salah satu tipe sel kerucut (sensor warna), untuk mendeteksi warna merah, hijau, atau biru. Gejala buta warna yang paling umum adalah buta warna hijau merah, yaitu ketidakmampuan untuk membedakan kedua warna tersebut. Jika dapat melihat angka-angka dua puluh enam, delapan, dan tujuh puluh empat di dalam pola di samping, berarti kalian tidak buta warna. Buta warna lebih banyak dijumpai pada pria dibandingkan pada wanita.



### B. Lup (Kaca Pembesar)

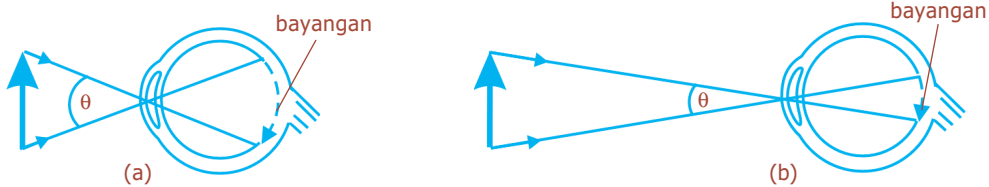
Lup atau kaca pembesar sebenarnya merupakan lensa, tampak seperti pada Gambar 5.6. Seberapa besar benda akan tampak, dan seberapa banyak detail yang bisa kita lihat padanya, bergantung pada ukuran bayangan yang dibuatnya pada retina. Hal ini, sebaliknya bergantung pada sudut yang dibentuk oleh benda pada mata. Contohnya, sebatang lidi dipegang secara vertikal pada jarak 30 cm dari mata, tampak dua kali lebih tinggi dibandingkan jika dipegang pada jarak 60 cm,



Sumber: *Jendela Iptek Cahaya*, PT Balai Pustaka, 2000

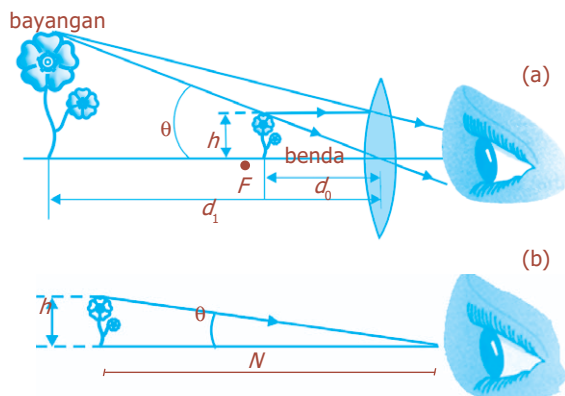
**Gambar 5.6** Kaca pembesar dan bayangan yang dibuatnya.

karena sudut yang dibuatnya dua kali lebih besar, tampak seperti pada Gambar 5.7. Ketika kita ingin meneliti detail sebuah benda, kita mendekatkannya ke mata sehingga benda tersebut membentuk sudut yang lebih besar. Bagaimanapun, mata kita hanya bisa mengakomodasi sampai suatu titik tertentu saja (titik dekat), dan kita akan menganggap jarak standar 25 cm sebagai titik dekat mata.



**Gambar 5.7** Sudut pandang dengan lup, bayangan (a) menjadi lebih tinggi daripada bayangan (b).

Sebuah kaca pembesar (lup) memungkinkan kita untuk meletakkan benda lebih dekat ke mata kita sehingga membentuk sudut yang lebih besar. Pada Gambar 5.8, memperlihatkan sebuah benda diletakkan pada titik fokus atau di sebelah dalamnya. Kemudian lensa konvergen membentuk bayangan maya, minimal berada 25 cm dari mata, agar mata terfokus padanya. Jika mata rileks, bayangan akan berada pada tak berhingga, dan dalam hal ini benda tepat berada pada titik fokus.



**Gambar 5.8** (a) Bunga dilihat melalui lup, (b) mata tanpa lup.

### 1. Pemakaian Lup dengan Mata Tak Berakomodasi

Sebuah perbandingan bagian (a) dari Gambar 5.8 dengan bagian (b), di mana benda yang sama dilihat pada titik dekat dengan mata tanpa bantuan, menunjukkan bahwa sudut yang dibuat benda pada mata jauh lebih besar ketika menggunakan kaca pembesar (lup). Perbesaran angular atau daya perbesaran,  $M$ , dari lensa didefinisikan sebagai perbandingan sudut yang dibentuk oleh benda ketika menggunakan lensa, dengan sudut yang dibentuk ketika

mata tanpa bantuan lensa, dengan benda pada titik dekat  $PP$  dari mata ( $PP = 25\text{ cm}$  untuk mata normal) dirumuskan:

$$M = \frac{\theta'}{\theta} \dots\dots\dots (5.1)$$



Di mana  $\theta$  dan  $\theta'$  ditunjukkan pada Gambar 5.8. Kita juga dapat menuliskan perbesaran angular,  $M$ , dalam panjang fokus dengan melihat bahwa:

$$\theta = \frac{h}{PP} \text{ dan } \theta' = \frac{h}{s}$$

Di mana  $h$  adalah tinggi benda dan kita anggap sudut-sudut kecil sehingga  $\theta$  dan  $\theta'$  sama dengan sinus dan tangennya. Jika mata rileks (untuk ketegangan mata paling kecil), bayangan akan berada pada tak berhingga dan benda akan tepat pada titik fokus, perhatikan Gambar 5.9,

$$\text{kemudian } s = f \text{ dan } \theta' = \frac{h}{f}.$$

Dengan demikian didapatkan:

$$M = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\frac{h}{f}}{\frac{h}{PP}}$$

$$M = \frac{PP}{f} \quad (5.2)$$

(mata terfokus pada  $\infty$ ;  $PP = 25$  cm untuk mata normal)

Dari persamaan (5.2), tampak bahwa makin pendek panjang fokus lensa ( $f$ ), makin besar perbesarannya. Bagaimanapun juga, perbesaran lensa tunggal sederhana terbatas sampai sekitar dua atau tiga kali karena adanya distorsi yang disebabkan oleh **aberasi sferis**.

## 2. Pemakaian Lup dengan Mata Berakomodasi Maksimum

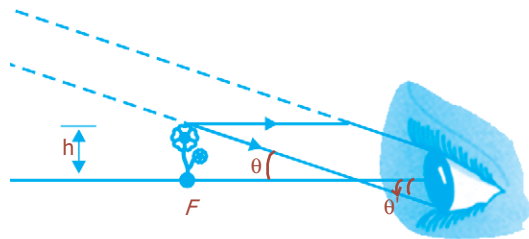
Perbesaran untuk lensa tertentu dapat diperbesar sedikit dengan menggerakkan lensa dan menyesuaikan mata sehingga terfokus pada bayangan di titik dekat mata. Dalam hal ini  $s' = -PP$  (Gambar 5.8a), jika mata sangat dekat dengan lup, maka jarak benda  $s$  dinyatakan dengan:

$$\frac{1}{s} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} + \frac{1}{PP}$$

Dari persamaan ini bahwa  $s < f$ , seperti ditunjukkan pada

Gambar 5.8a, karena  $\frac{PP}{(f+PP)} < 1$ . Dengan  $\theta' = \frac{h}{s}$ , maka:

$$M = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\frac{h}{s}}{\frac{h}{PP}} = \frac{PP}{s} \left( \frac{1}{f} + \frac{1}{PP} \right)$$



**Gambar 5.9** Dengan mata yang rileks, benda diletakkan pada titik fokus.

### BETA<sup>β</sup> Berita Fisika

Kaca pembesar adalah lensa konvergen yang dipergunakan sedemikian sehingga benda dibuat tampak lebih besar daripada benda aslinya.

### Komet<sup>β</sup> Kolom mengingat

Perbesaran bayangan pada lup:

- mata tak berakomodasi:

$$M = \frac{PP}{f}$$

- mata berakomodasi:

$$M = \frac{PP}{f} + 1$$

$$M = \frac{PP}{f} + 1 \dots\dots\dots (5.3)$$

(mata terfokus pada titik dekat  $PP$ ;  $PP = 25$  cm untuk mata normal)

Dari persamaan (5.3) tampak bahwa perbesaran sedikit lebih besar ketika mata terfokus pada titik dekatnya, dan bukan ketika rileks.

### Contoh Soal

Berapakah perbesaran anguler lup yang memiliki fokus 8 cm dengan mata tak berakomodasi?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $f = 8$  cm  
 $PP = 25$  cm

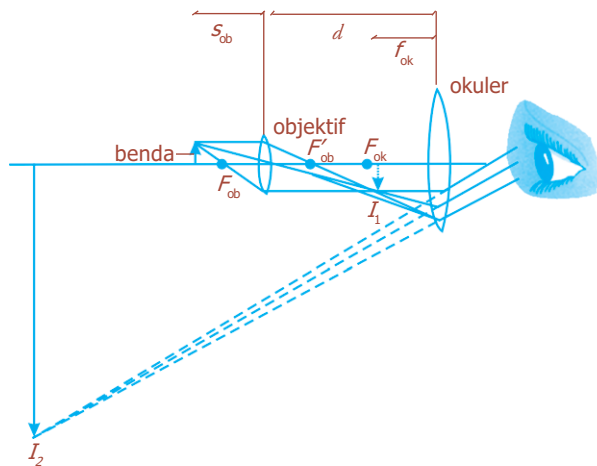
Ditanya :  $M = \dots ?$

Jawab:

$$M = \frac{PP}{f} = \frac{25}{8} = 3,125 \text{ kali}$$



## C. Mikroskop



**Gambar 5.10** Diagram berkas cahaya pada mikroskop.

Mikroskop memiliki **lensa objektif** dan **okuler**. Lensa objektif adalah lensa yang berhadapan dengan objek yang diamati, sedangkan lensa okuler adalah lensa yang langsung berhadapan dengan mata pengamat.

Mikroskop digunakan untuk melihat benda yang sangat dekat, sehingga jarak benda sangat kecil. Benda yang akan diamati diletakkan persis di luar titik fokus objektif, tampak seperti pada Gambar 5.10. Bayangan  $I_1$  yang dibentuk oleh lensa objektif bersifat nyata, cukup jauh dari lensa, dan diperbesar.

Bayangan ini diperbesar oleh okuler menjadi bayangan maya yang sangat besar,  $I_2$  yang terlihat oleh mata dan dibalik.

Perbesaran bayangan pada mikroskop.

- Mata tak berakomodasi:

$$M = \frac{b'_{ob}}{b_{ob}} + \left( \frac{PP}{f_{ok}} + 1 \right)$$

- Mata berakomodasi maksimum:

$$M = \frac{b'_{ob}}{b_{ob}} + \frac{PP}{f_{ok}}$$

Perbesaran total mikroskop merupakan hasil kali perbesaran yang dihasilkan oleh kedua lensa. Bayangan  $I_1$  yang dibentuk oleh objektif adalah sebesar faktor  $M_{ob}$  lebih besar dari benda itu sendiri. Dari Gambar 5.10, untuk perbesaran lensa sederhana didapatkan:

$$M_{ob} = \frac{b'_{ob}}{b_{ob}} = \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} = \frac{d - f_{ok}}{s_{ob}} \dots\dots\dots (5.4)$$

di mana  $s_{ob}$  dan  $s'_{ob}$  adalah jarak benda dan bayangan untuk lensa objektif,  $d$  adalah jarak antarlensa.

Lensa okuler bekerja seperti pembesar sederhana (lup). Jika kita anggap bahwa mata rileks (mata tak berakomodasi), perbesaran angular  $M_{ok}$  adalah:

$$M_{ok} = \frac{PP}{f_{ok}} \dots\dots\dots (5.5)$$

Titik dekat  $PP = 25$  cm untuk mata normal. Karena lensa okuler memperbesar bayangan yang dibentuk oleh objektif, perbesaran angular total  $M$  adalah hasil kali antara perbesaran lateral lensa objektif  $M_{ob}$  dengan perbesaran angular  $M_{ok}$  dari lensa okuler, sehingga diperoleh persamaan:

$$M = M_{ok} \times M_{ob} \dots\dots\dots (5.6)$$

$$M = \left( \frac{PP}{f_{ok}} \right) \left( \frac{d - f_{ok}}{s_{ob}} \right)$$

$$M = \frac{PP \cdot d}{f_{ok} \cdot f_{ob}} \dots\dots\dots (5.7)$$

Dari pendekatan tersebut, persamaan (5.7) akurat jika  $f_{ok}$  dan  $f_{ob}$  kecil dibandingkan dengan  $d$ , sehingga  $d - f_{ok} \approx d$  dan  $s_{ob} \approx f_{ob}$ . Ini merupakan pendekatan yang baik untuk perbesaran besar, karena didapatkan jika  $f_{ob}$  dan  $f_{ok}$  sangat kecil. Untuk membuat lensa dengan panjang fokus yang sangat pendek, yang paling baik dilakukan untuk objektif, lensa gabungan yang melibatkan beberapa elemen harus digunakan untuk menghindari aberasi.

#### Contoh Soal

Sebuah mikroskop memiliki tabung dengan panjang 22 cm, fokus okuler 5 cm dan fokus objektif 6 cm. Jika mata tak berakomodasi, tentukan letak benda terhadap lensa objektif!

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $d = 22$  cm

$f_{ok} = 5$  cm

$f_{ob} = 6$  cm

Ditanya:  $s_{ob} = \dots ?$



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*, PT Ichtiar Baru van Hoeve, 2005

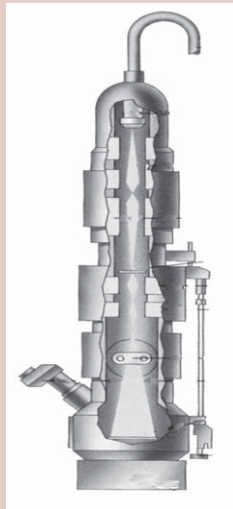
**Gambar 5.11** Sebuah mikroskop lengkap.

Jawab:

$$\begin{aligned}d &= s'_{\text{ob}} + f_{\text{ok}} \rightarrow s'_{\text{ob}} = d - f_{\text{ok}} \\&= 22 - 5 \\&= 17 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$s_{\text{ob}} = \frac{s'_{\text{ob}} f_{\text{ob}}}{s'_{\text{ob}} - f_{\text{ob}}} = \frac{17 \times 6}{17 - 6} = 9,27 \text{ cm}$$

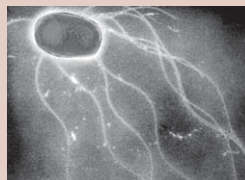
## Percikan Fisika



### Mikroskop Elektron Transmisi

Bedil elektron dari mikroskop elektron memiliki filamen tungsten yang dipanaskan hingga suhu 2.500 °C. Bedil menembakkan elektron-elektron yang kemudian dipercepat oleh medan listrik tegangan tinggi. Berkas elektron menembus lingkaran elektromagnet yang bertindak seperti lensa, yaitu memfokuskan berkas elektron tepat pada titik di mana ia menembus spesimen. Elektron-elektron membentuk citra ketika membentur layar pendar di bawah sampel. Citra ini dilihat dengan lensa pengamat, seperti pada mikroskop optik biasa. Pompa menyedot udara keluar dari mikroskop agar molekul-molekul gas tidak menghamburkan elektron.

Bakteri Salmonella yang diperbesar 13.000 kali oleh mikroskop elektron tipe transmisi. Bakteri seperti ini dapat meracuni makanan.



### Uji Kemampuan 5.1

1. Seseorang dengan kelainan mata hipermetropi memiliki titik dekat 80 cm dan memakai kacamata 2,5 dioptri. Ia mengamati benda menggunakan lup yang berjarak fokus 6 cm. Tentukan perbesarannya untuk mata tak berakomodasi dan mata berakomodasi maksimum!
2. Sebuah benda kecil diletakkan pada jarak 2 cm di depan lensa objektif sebuah mikroskop. Jika jarak fokus lensa objektif 1,2 cm dan fokus lensa okuler 1 cm, hitunglah panjang tabung dan perbesaran mikroskop untuk mata berakomodasi maksimum!



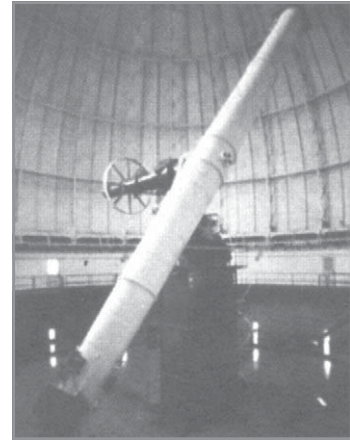
## D. Teleskop (Teropong Bintang)

Teleskop digunakan untuk memperbesar benda yang sangat jauh letaknya. Pada kebanyakan kasus di dalam penggunaan teleskop, benda bisa dianggap berada pada jarak tak berhingga. Galileo, walaupun bukan penemu teleskop, ia mengembangkan teleskop menjadi instrumen yang penting dan dapat digunakan. Galileo merupakan orang pertama yang meneliti ruang angkasa dengan teleskop, dan ia membuat penemuan-penemuan yang mengguncang dunia, di antaranya satelit-satelit Jupiter, fase Venus, bercak matahari, struktur permukaan bulan, dan bahwa galaksi Bimasakti terdiri dari sejumlah besar bintang-bintang individu.

Secara garis besar, teleskop atau teropong bintang (teropong astronomi) dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu **teleskop pembias (Keplerian)** dan **teleskop pemantul**.

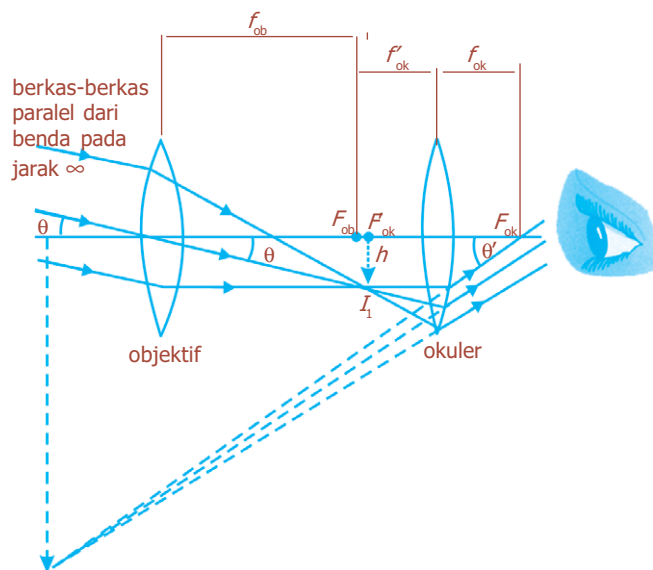
### 1. Teleskop Pembias (Keplerian)

Teleskop pembias terdiri dari dua lensa konvergen (lensa cembung) yang berada pada ujung-ujung berlawanan dari tabung yang panjang, seperti diilustrasikan pada Gambar 5.13. Lensa yang paling dekat dengan objek disebut **lensa objektif** dan akan membentuk bayangan nyata  $I_1$  dari benda yang jatuh pada bidang titik fokusnya  $F_{ob}$  (atau di dekatnya jika benda tidak berada pada tak berhingga). Walaupun bayangan  $I_1$  lebih kecil dari benda aslinya, ia membentuk sudut yang lebih besar dan sangat dekat ke **lensa okuler**, yang berfungsi sebagai pembesar. Dengan demikian, lensa okuler memperbesar bayangan yang dihasilkan oleh lensa objektif untuk menghasilkan bayangan kedua yang jauh lebih besar  $I_2$ , yang bersifat maya dan terbalik.



Sumber: *Fisika Jilid 2*, Erlangga, 2001

**Gambar 5.12** Teleskop untuk mengamati benda-benda yang letaknya jauh.



**Gambar 5.13** Diagram pembentukan bayangan pada teleskop pembias.



Sumber: *Jendela Iptek Astronomi*, PT Balai Pustaka, 2000

**Gambar 5.14** Teleskop pembias abad ke-19.

Jika mata yang melihat rileks (tak berakomodasi), lensa okuler dapat diatur sehingga bayangan  $I_2$  berada pada tak berhingga. Kemudian bayangan nyata  $I_1$  berada pada titik fokus  $f'_{ok}$  dari okuler, dan jarak antara lensa objektif dengan lensa okuler adalah  $d = f_{ob} + f'_{ok}$  untuk benda pada jarak tak berhingga.

Perbesaran total dari teleskop dapat diketahui dengan melihat bahwa  $\theta \approx \frac{h}{f'_{ob}}$ , di mana  $h$  adalah tinggi bayangan  $I_1$  dan kita anggap  $\theta$  kecil, sehingga  $\tan \theta \approx \theta$ . Kemudian garis yang paling tebal untuk berkas sinar sejajar dengan sumbu utama tersebut, sebelum jatuh pada okuler, sehingga melewati titik fokus okuler  $F_{ok}$ , berarti  $\theta' \approx \frac{h}{f_{ok}}$ .

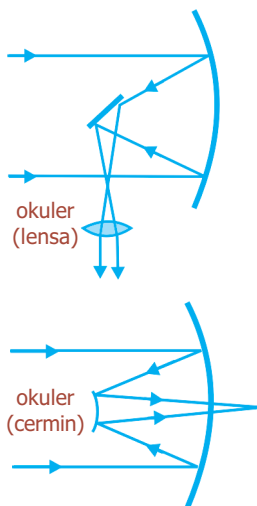
Perbesaran angular (daya perbesaran total) teleskop adalah:

$$M = \frac{\theta'}{\theta} = -\frac{f_{ob}}{f_{ok}} \dots\dots\dots (5.8)$$

Tanda minus (-) untuk menunjukkan bahwa bayangan yang terbentuk bersifat terbalik. Untuk mendapatkan perbesaran yang lebih besar, lensa objektif harus memiliki panjang fokus ( $f_{ob}$ ) yang panjang dan panjang fokus yang pendek untuk okuler ( $f_{ok}$ ).

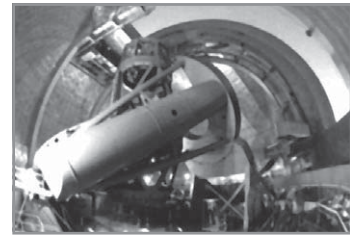
## 2. Teleskop Pemantul

Sebelumnya telah disebutkan bahwa untuk membuat teleskop pembias (teleskop astronomi) berukuran besar diperlukan konstruksi dan pengasahan lensa besar yang sangat sulit. Untuk mengatasi hal ini, umumnya teleskop-teleskop paling besar merupakan jenis teleskop pemantul yang menggunakan cermin lengkung sebagai objektif, (Gambar 5.15), karena cermin hanya memiliki satu permukaan sebagai dasarnya dan dapat ditunjang sepanjang permukaannya. Keuntungan lain dari cermin sebagai objektif adalah tidak memperlihatkan aberasi kromatik karena cahaya tidak melewatinya. Selain itu, cermin dapat menjadi dasar dalam bentuk parabola untuk membetulkan aberasi sferis. Teleskop pemantul pertama kali diusulkan oleh Newton. Biasanya lensa atau cermin okuler, tampak seperti pada Gambar 5.15 dipindahkan sehingga bayangan nyata yang dibentuk oleh cermin objektif dapat direkam langsung pada film.



**Gambar 5.15** Cermin cekung digunakan sebagai objektif pada teleskop astronomi.

Agar teleskop astronomi menghasilkan bayangan yang terang dari bintang-bintang yang jauh, lensa objektif harus besar untuk memungkinkan cahaya masuk sebanyak mungkin. Dan memang, diameter objektif merupakan parameter yang paling penting untuk teleskop astronomi, yang merupakan alasan mengapa teleskop yang paling besar dispesifikasikan dengan menyebutkan diameter objektifnya, misalnya teleskop Hale 200 inci di Gunung Palomar. Dalam hal ini, konstruksi dan pengasahan lensa besar sangat sulit.



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*, PT Ichtiar Baru van Hoeve, 2005

**Gambar 5.16** Teleskop Hale termasuk teleskop pemantul, adalah teleskop terbesar di dunia.

## Kegiatan

- Tujuan : Melakukan percobaan dengan teropong bintang yang memiliki dua lensa positif.  
 Alat dan bahan : Bangku optik, lensa positif dengan jarak fokus 200 cm dan 20 cm, statif untuk lensa dua buah.

### Cara Kerja:

1. Siapkan bangku optik sepanjang 220 m, dua buah lensa positif dengan jarak titik api masing-masing 200 cm dan 20 cm lengkap dengan statifnya.
2. Letakkan salah satu lensa positif berstatif pada salah satu ujung bangku optik, dan lensa positif lainnya pada ujung yang lain.
3. Pada kondisi fisis seperti pada langkah 2, lihatlah benda-benda yang cukup jauh melalui bagian lensa positif keduanya berganti-ganti. Kondisi fisis dari bayangan seperti apakah yang dapat teramati oleh mata?
4. Pada langkah 3 usahakan mendapatkan bayangan yang paling jelas dengan menggeser-geser jarak antara kedua lensa.
5. Perkirakan jarak antara benda sampai sistem lensa ( $s$ ) dan perkirakan pula jarak bayangan yang terjadi dari sistem lensa ( $s'$ ).
6. Masukkan data berdasarkan pengamatan ke dalam tabel berikut ini.

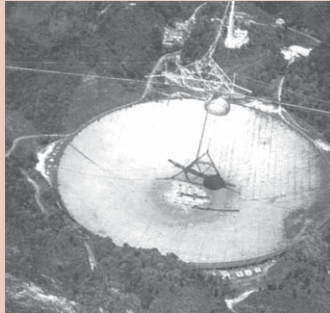
$F_1$	$F_2$	$s$	$s'$	$1/s + 1/s'$	$s'/s$	$f_1 + f_2$	$f_2/f_1$

### Diskusi:

1. Apa yang dapat disimpulkan dari percobaan tersebut?
2. Bagaimanakah sifat bayangan yang dibentuk oleh teropong bintang tersebut?



## Percikan Fisika

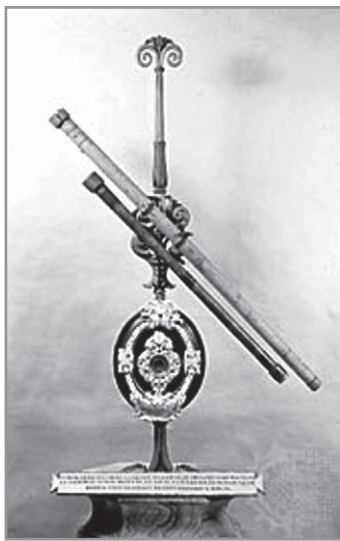


### Teleskop Radio

Teleskop radio modern dapat memayar langit dengan antena berbentuk mangkuk parabola raksasa, yang mampu memantulkan sinyal radio ke antena penyadap kecil berbentuk tanduk. Desain antena seperti ini dapat memastikan posisi sumber setiap gelombang radio, dengan tingkat ketelitian sangat tinggi. Pesawat penerima radio yang peka dapat menguatkan sinyal, dan komputer membangkitkan citra visual dan merekam data untuk keperluan penelitian para ahli astronomi. Gambar di samping menunjukkan teleskop radio Arecibo yang dibangun di sebuah kawah alami di kawasan Pegunungan Puerto Rico. Mangkuk kawah berukuran bentang 305 m ini memantulkan sinyal ke antena seberat 90 ton yang terletak pada ketinggian 130 meter di atasnya.



## E. Teropong Terrestrial (Teropong Medan)



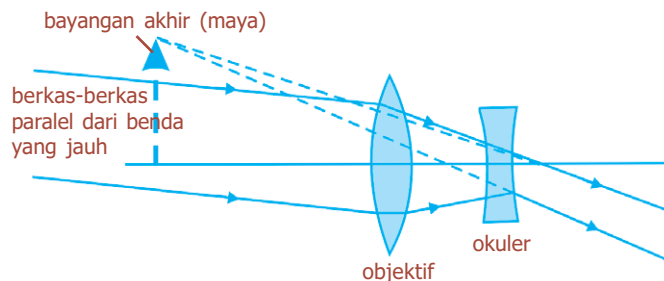
Sumber: *Encyclopedia Britannica*, 2005

**Gambar 5.17** Teleskop Galileo.

Teropong terrestrial atau teropong medan yang digunakan untuk melihat benda-benda di Bumi, tidak seperti teropong bintang (teleskop), harus menghasilkan bayangan tegak. Dua rancangan teropong terrestrial diperlihatkan pada Gambar 5.18 dan 5.19.

### 1. Teropong Galilean

Teropong Galilean ditunjukkan pada Gambar 5.17, yang digunakan Galileo untuk penemuan-penemuan astronominya yang terkenal, memiliki lensa divergen (lensa cekung) sebagai okuler yang memotong berkas yang mengumpul dari lensa objektif sebelum mencapai fokus, dan berfungsi untuk membentuk bayangan tegak maya. Rancangan ini sering digunakan pada kacamata opera. Tabungnya pendek, tetapi medan pandang kecil.

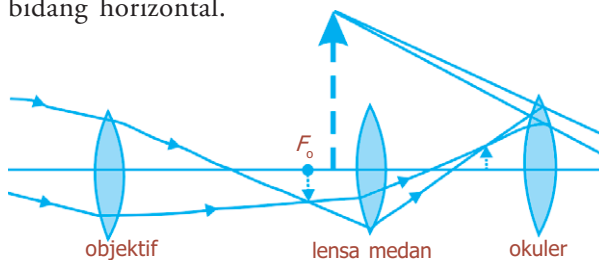


**Gambar 5.18** Teropong terrestrial Galilean.



## 2. Spyglass

Jenis ini menggunakan lensa ketiga (“lensa medan”) yang berfungsi untuk membuat bayangan tegak seperti digambarkan pada Gambar 5.20. **Spyglass** harus cukup panjang, sehingga sangat kurang praktis. Rancangan yang paling praktis sekarang ini adalah **teropong prisma** yang diperlihatkan pada Gambar 5.19. Objektif dan okuler merupakan lensa konvergen. Prisma memantulkan berkas dengan pantulan internal sempurna dan memendekkan ukuran fisik alat tersebut, dan juga berfungsi untuk menghasilkan bayangan tegak. Satu prisma membalikkan kembali bayangan pada bidang vertikal, yang lainnya pada bidang horizontal.



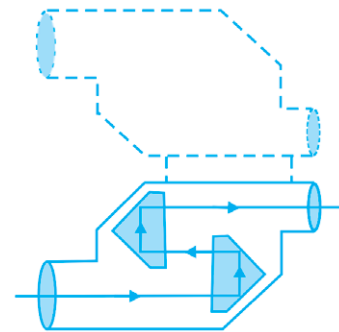
Gambar 5.20 Teropong terrestrial spyglass.



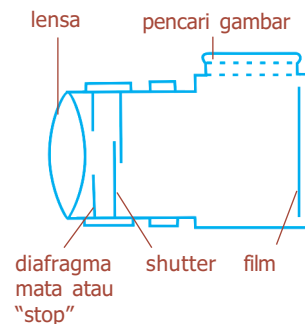
## Kamera

Komponen-komponen dasar kamera adalah lensa, kotak ringan yang rapat, *shutter* (penutup) untuk memungkinkan lewatnya cahaya melalui lensa dalam waktu yang singkat, dan pelat atau potongan film yang peka. Gambar 5.21 menunjukkan desain atau diagram sebuah kamera sederhana. Ketika *shutter* dibuka, cahaya dari benda luar dalam medan pandangan difokuskan oleh lensa sebagai bayangan pada film. Film terdiri dari bahan kimia yang peka terhadap cahaya yang mengalami perubahan ketika cahaya menyimpannya. Pada proses pencucian, reaksi kimia menyebabkan bagian yang berubah menjadi tak tembus cahaya sehingga bayangan terekam pada film. Benda atau film ini disebut *negatif*, karena bagian hitam menunjukkan benda yang terang dan sebaliknya. Proses yang sama terjadi selama pencetakan gambar untuk menghasilkan gambar “positif” hitam dan putih. Film berwarna menggunakan tiga bahan celup yang merupakan warna-warna primer.

Kalian juga dapat melihat bayangan dengan membuka bagian belakang kamera dan memandang melalui secarik *tissue* atau kertas lilin (di mana bayangan dapat terbentuk) yang diletakkan pada posisi film dengan *shutter* terbuka.



Gambar 5.19 Pantulan cahaya internal sempurna oleh prisma teropong.



Gambar 5.21 Kamera sederhana

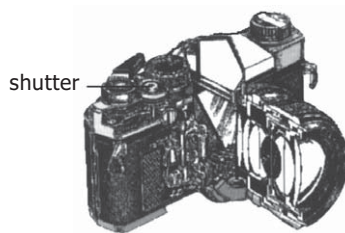
**BETA<sup>β</sup>** Berita Fisika

Pada 1925, Leitz Company dari Jerman membuat kamera pertama yang menggunakan film berukuran 35 mm. Berkat film tersebut, kamera dibuat kecil dan ekonomis.



Sumber: *Encarta Encyclopedia*, 2006

**Gambar 5.22** Macam-macam kamera.



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*, PT Ichtiar Baru van Hoeve, 2005

**Gambar 5.23** Kamera SLR dengan shutter di depan film.



Sumber: *Fisika Jilid 2*, Erlangga, 2001

**Gambar 5.24** Pada kamera ini f-stop ada pada lensa kamera.

Ada tiga penyetelan utama pada kamera dengan kualitas yang baik, yaitu kecepatan *shutter*, *f-stop*, dan pemfokusan. Pada saat ini, walaupun banyak kamera dengan sistem penyetelan secara otomatis, pemahaman mengenainya akan berguna untuk menggunakan kamera apa pun dengan efektif. Untuk hasil yang khusus dan kualitas tinggi, kamera yang memungkinkan penyetelan manual harus dimiliki.

## 1. Kelajuan *Shutter*

Kelajuan *shutter* mengacu pada berapa lama penutup kamera (*shutter*) dibuka dan film terbuka. Laju ini bisa bervariasi dari satu detik atau lebih (“waktu pencahayaan”) sampai  $\frac{1}{1.000}$  detik atau lebih kecil lagi. Untuk menghindari pengaburan karena gerak kamera, laju yang lebih cepat dari  $\frac{1}{100}$  detik biasanya digunakan. Jika benda bergerak, laju *shutter* yang lebih tinggi dibutuhkan untuk “menghentikan” gerak tersebut. Umumnya shutter berada persis di belakang lensa, sedangkan pada kamera SLR (*single-lens reflex* / refleksi lensa tunggal) adalah shutter “bidang fokus”, yang merupakan tirai tidak tembus cahaya persis di depan film yang bukaanannya dapat bergerak cepat melintasi film untuk menerima cahaya.

## 2. *f-stop*

Banyaknya cahaya yang mencapai film harus dikendalikan dengan hati-hati untuk menghindari **kekurangan cahaya** (terlalu sedikit cahaya sehingga yang terlihat hanya benda yang paling terang) atau **kelebihan cahaya** (terlalu banyak cahaya, sehingga semua benda terang tampak sama, tanpa adanya kesan kontras dan kesan “tercuci”). Untuk mengendalikan bukaan, suatu “stop” atau diafragma mata, yang bukaanannya dengan diameter variabel, diletakkan di belakang lensa. Ukuran bukaan bervariasi untuk mengimbangi hari-hari yang terang atau gelap, kepekaan film yang digunakan, dan kecepatan shutter yang berbeda. Ukuran bukaan diatur dengan *f-stop*, didefinisikan sebagai:

$$f\text{-stop} = \frac{f}{D}$$

Dengan *f-stop* adalah panjang fokus lensa dan *D* adalah diameter bukaan. Contohnya, jika lensa dengan panjang fokus 50 mm memiliki bukaan  $D = 25$  mm, maka lensa tersebut diatur pada  $\frac{f}{2}$ . Bila lensa diatur pada  $\frac{f}{8}$ , bukaan hanya  $6\frac{1}{4}$  mm ( $\frac{50}{6\frac{1}{4}} = 8$ ).

### 3. Pemfokusan

Pemfokusan adalah peletakan lensa pada posisi yang benar relatif terhadap film untuk mendapatkan bayangan yang paling tajam. Jarak bayangan minimum untuk benda di jarak tak berhingga ( $\infty$ ) dan sama dengan panjang fokus. Untuk benda-benda yang lebih dekat, jarak bayangan lebih besar dari panjang fokus, sesuai dengan persamaan atau rumus lensa  $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$ . Untuk memfokuskan benda-benda dekat, lensa harus dijauhkan dari film, hal ini biasanya dilakukan dengan memutar sebuah gelang pada lensa.

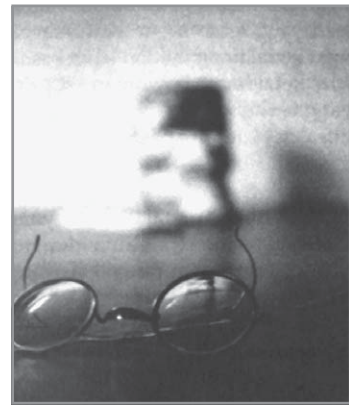
Jika lensa terfokus pada benda dekat, bayangan tajam dari benda itu akan terbentuk, tetapi benda yang jauh mungkin akan kabur, tampak seperti pada Gambar 5.26. Berkas-berkas dari titik pada benda jauh akan berada di luar fokus, dan membentuk lingkaran pada film. Benda jauh akan menghasilkan bayangan yang terdiri atas lingkaran-lingkaran yang bertumpang-tindih dan akan kabur. Lingkaran-lingkaran ini disebut **lingkaran kebingungan**. Agar benda dekat dan jauh terlihat tajam pada saat yang sama dapat diperoleh dengan mengatur fokus lensa pada posisi pertengahan. Untuk pengaturan jarak tertentu, ada kisaran jarak di mana lingkaran-lingkaran tersebut akan cukup kecil, sehingga bayangan akan cukup tajam. Kisaran ini disebut **kedalaman medan**. Untuk pilihan diameter lingkaran kebingungan tertentu sebagai batas atas (biasanya diambil 0,03 mm untuk kamera 35 mm), kedalaman medan bervariasi terhadap bukaan lensa. Faktor lain juga memengaruhi ketajaman bayangan, antara lain kekasaran film, difraksi, dan aberasi lensa yang berhubungan dengan kualitas lensa itu sendiri.

Berdasarkan panjang fokus dan ukuran film, lensa kamera dibedakan menjadi normal, telefoto, dan sudut lebar. **Lensa normal** adalah lensa yang menutup film dengan medan pandangan yang kira-kira sama dengan pandangan normal. Lensa normal untuk film 35 mm mempunyai panjang fokus dalam jarak 50 mm. **Lensa telefoto** berfungsi seperti teleskop untuk memperbesar bayangan. Lensa ini memiliki panjang fokus yang lebih panjang dari lensa normal, ketinggian bayangan untuk jarak benda tertentu sebanding dengan jarak bayangan, dan jarak bayangan akan lebih besar untuk lensa dengan panjang fokus yang lebih besar. Untuk benda-benda jauh, tinggi bayangan hampir sebanding dengan panjang fokus. Bila lensa telefoto 200 mm yang digunakan pada kamera 35 mm menghasilkan perbesaran  $4\times$  lensa normal 50 mm.

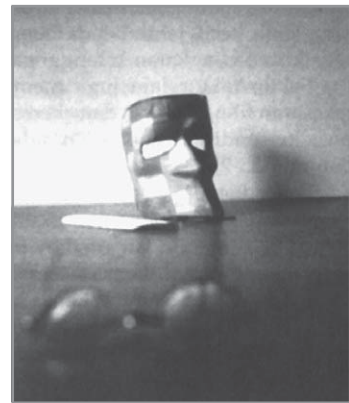


Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*, PT Ichtiar Baru van Hoeve, 2005

**Gambar 5.25** Dalam kamera modern terdapat sistem untuk penyetelan lensa (fokus).



(a)



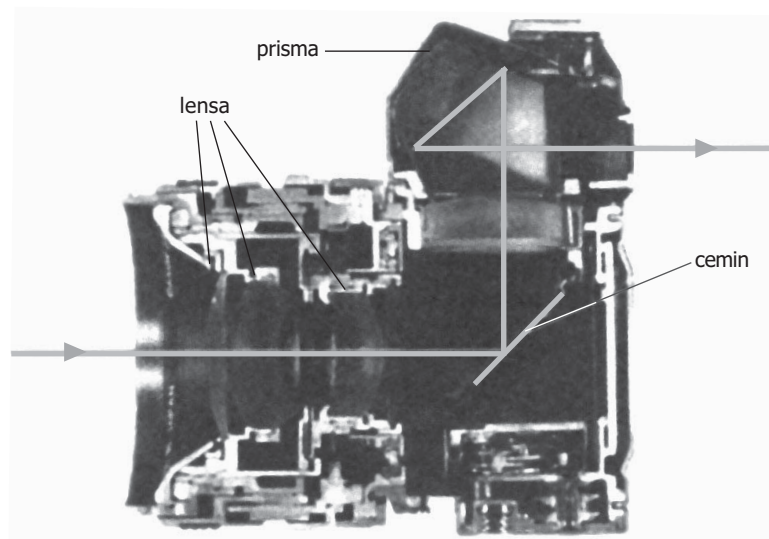
(b)

Sumber: *Fisika Jilid 2*, Erlangga, 2001

**Gambar 5.26** Foto dengan kamera terfokus (a) pada benda dekat, (b) pada benda jauh.

**Lensa sudut lebar** memiliki panjang fokus yang lebih pendek dari normal, medan pandang yang lebar akan tercakup dan benda-benda tampak lebih kecil. **Lensa zoom** memiliki panjang fokus yang dapat diubah, sehingga kita tampak mendekati atau menjauhi objek sewaktu mengubah panjang fokus.

Dua jenis sistem pandangan umum dipakai pada kamera-kamera saat ini. Umumnya, kalian melihat melalui jendela kecil persis di atas lensa seperti skema/diagram kamera sederhana pada Gambar 5.21. Pada kamera **refleks lensa tunggal** (*single-lens reflex/SLR*), kalian secara aktual/nyata memandang melalui lensa dengan menggunakan prisma dan cermin, tampak seperti pada Gambar 5.27. Sebuah cermin tergantung pada sudut  $45^\circ$  di belakang lensa dan mengangkat persis sebelum *shutter* terbuka. SLR memiliki keuntungan besar bahwa kalian akan melihat hampir sama dengan apa yang kalian dapatkan di film.



Sumber: *Fisika Jilid 2*, Erlangga, 2001

**Gambar 5.27** Kamera refleks lensa tunggal (*single-lens reflex/SLR*).

### Uji Kemampuan 5.2

1. Bilamana mata dikatakan sedang berakomodasi maksimum dan tidak berakomodasi?
2. Sebuah teleskop (teropong bintang) memiliki lensa objektif dengan fokus 120 cm dan lensa okuler dengan fokus 6 cm. Berapakah panjang dan perbesaran teleskop tersebut?

3. Teropong terrestrial memiliki fokus lensa objektif 90 cm dan fokus lensa okuler 9 cm. Di antara kedua lensa tersebut disisipkan lensa pembalik dengan fokus 6 cm. Jika mata tidak berakomodasi, tentukan:
  - a. perbesaran bayangan,
  - b. panjang teropong!
4. Jelaskan sifat bayangan yang terjadi pada saat kita menggunakan kamera!

## Fiesta

*Fisikawan Kita*



### William Fox Talbot (1800-1877)

Hampir seribu tahun yang lalu ilmuwan Arab Alhazen menjelaskan bagaimana bayangan gambar Matahari dapat dibuat di dalam ruangan yang gelapkan. Menjelang tahun 1660 orang telah membuat kamera obscura yang dapat dibawa ke mana-mana yang dilengkapi dengan lensa, layar kertas, dan alat pemfokus. Baru 150 tahun kemudian Joseph Niepce menemukan cara untuk merekam cahaya sehingga fotografi yang sebenarnya pun lahir.

Kamera modern menggunakan teknik yang dirintis pada awal tahun 1830-an oleh William Fox Talbot (1800-1877). Ia mencelupkan kertas ke dalam klorida perak yang berubah menjadi berwarna gelap jika terdedah ke udara. Ketika ia membiarkan cahaya jatuh ke kertas itu, timbul gambar negatif. Dengan menggunakan teknik yang sama ia dapat membuat cetakan positif.

## Kilas Balik

- ✧ Mata merupakan alat indra yang dapat menangkap perubahan dan perbedaan cahaya.
- ✧ Lup atau kaca pembesar merupakan lensa konvergen sehingga benda tampak lebih besar.
- ✧ Mikroskop adalah alat optik yang dapat memperbesar benda yang sangat kecil.
- ✧ Teleskop adalah alat optik yang digunakan untuk memperbesar benda yang sangat jauh letaknya, misalnya bintang.
- ✧ Kamera adalah alat optik yang digunakan untuk membentuk dan merekam bayangan dari benda pada film. Bayangan yang terbentuk adalah bayangan terbalik dan merupakan bayangan nyata.

## Uji Kompetensi

### A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Seseorang memakai kacamata dengan kekuatan 1,5 dioptri, sehingga dapat membaca seperti mata normal. Titik dekat ( $PP$ ) orang tersebut adalah ... .
  - a. 36 cm
  - b. 40 cm
  - c. 42 cm
  - d. 45 cm
  - e. 50 cm
2. Mata miopi yang mempunyai titik jauh ( $PR$ ) berjarak 8 m hendak melihat benda pada jarak tak berhingga dengan tidak berakomodasi. Maka kekuatan lensa kacamata yang harus dipakai adalah ... .
  - a. -25 dioptri
  - b. -50 dioptri
  - c. -75 dioptri
  - d. -125 dioptri
  - e. -150 dioptri
3. Sebuah lup memiliki jarak fokus 5 cm dipakai untuk melihat benda kecil yang berjarak 5 cm dari lup. Perbesaran anguler lup itu adalah ... .
  - a. 2 kali
  - b. 4 kali
  - c.  $4\frac{1}{6}$  kali
  - d. 5 kali
  - e.  $6\frac{1}{4}$  kali
4. Sebuah lup yang panjang fokusnya 6 cm digunakan untuk mengamati sebuah benda dengan mata berakomodasi maksimum. Jika jarak titik dekat mata 25 cm, maka jarak benda dari lup dan perbesarannya masing-masing adalah ... .
  - a. 4,84 cm dan 5,1 kali
  - b. 6,0 cm dan 4,7 kali
  - c. 6,0 cm dan 5,16 kali
  - d. 8,82 cm dan 2,83 kali
  - e. 25 cm dan 5,16 kali
5. Sebuah benda yang akan dilihat dengan menggunakan mikroskop harus diletakkan pada ... .
  - a. ruang I lensa objektif
  - b. ruang II lensa objektif
  - c. ruang III lensa objektif
  - d. titik fokus lensa objektif
  - e. titik pusat lensa objektif
6. Sebuah mikroskop memiliki panjang fokus lensa objektif dan okuler masing-masing 10 cm dan 5 cm. Jika jarak antara lensa objektif dan okuler 35 cm dan mata tidak berakomodasi, maka perbesaran total mikroskop adalah ... .
  - a. 10 kali
  - b. 12 kali
  - c. 15 kali
  - d. 18 kali
  - e. 20 kali
7. Sebuah teropong bintang memiliki panjang fokus objektif 20 cm. Jika perbesaran sudutnya 5 kali dan mata tidak berakomodasi, maka panjang teropong bintang itu adalah ... .
  - a. 16 cm
  - b. 20 cm
  - c. 24 cm
  - d. 25 cm
  - e. 30 cm



8. Sebuah teropong bintang memiliki jarak fokus lensa objektif dan okuler masing-masing 100 cm dan 8 cm. Ternyata bayangan bintang yang diamati pengamat tepat jatuh di titik fokus okuler. Kemudian lensa okuler digeser hingga mata pengamat berakomodasi sejauh 32 cm. Maka lensa okuler telah digeser sejauh ...
  - a. 1,2 cm ke dalam
  - b. 1,2 cm ke luar
  - c. 1,6 cm ke dalam
  - d. 1,6 cm ke luar
  - e. 2,0 cm ke dalam
9. Sebuah teropong medan (teropong bumi) memiliki lensa objektif, pembalik, dan okuler masing-masing dengan kekuatan 2 D, 20 D, dan 20 D. Jika teropong digunakan untuk melihat benda pada jarak tak berhingga, ternyata mata berakomodasi sejauh 45 cm. Jika mata normal dan tidak berakomodasi, maka lensa okuler harus digeser sejauh ...
  - a. 0,5 cm ke dalam
  - b. 0,5 cm ke luar
  - c. 1,0 cm ke luar
  - d. 1,0 cm ke dalam
  - e. 2,0 cm ke dalam
10. Sebuah objek yang akan difoto dengan menggunakan kamera harus diatur kedudukannya di ruang III, sehingga dihasilkan bayangan pada ruang II. Sifat bayangan objek tersebut adalah ...
  - a. nyata, tegak, dan diperkecil
  - b. nyata, terbalik, dan diperkecil
  - c. maya, tegak, dan diperkecil
  - d. maya, terbalik, dan diperkecil
  - e. maya, terbalik, dan diperbesar

**B. Jawablah dengan singkat dan benar!**

1. Seseorang memiliki titik jauh (*punctum remotum*) 200 cm, sedangkan titik dekat (*punctum proximum*) normal. Berapa kekuatan lensa kacamata yang harus digunakan agar dapat melihat dengan normal?
2. Seseorang bermata normal mengamati benda dengan lup berkekuatan 10 D. Jika lup diletakkan 4 cm di depan mata dan untuk mata berakomodasi maksimum, maka hitung perbesaran angulernya!
3. Sebuah mikroskop memiliki jarak fokus lensa objektif dan okuler masing-masing 9 mm dan 5 cm. Jika sebuah benda ditempatkan pada jarak 10 mm di depan objektif dan jarak antara lensa objektif ke lensa okuler 12 cm, maka tentukan:
  - a. perbesaran yang dihasilkan,
  - b. lukisan jalannya sinar untuk pembentukan bayangan, dan
  - c. jarak pergeseran lensa objektif!
4. Sebuah teropong bintang memiliki jarak fokus lensa okuler 1,2 cm dan perbesaran 150 kali. Jika melakukan pengamatan untuk mata yang tidak berakomodasi, berapa jarak fokus lensa objektif?
5. Sebutkan bagian-bagian dari kamera dan jelaskan fungsi masing-masing bagian tersebut!

## KUNCI JAWABAN NOMOR GENAP

### BAB 1 BESARAN DAN SATUAN

- A. 2. e      8. a  
4. b      10. d  
6. a
- B. 2. Satuan A dalam m/s, satuan B dalam m/s<sup>2</sup>,  
satuan C dalam m/s<sup>3</sup>  
4. 14 N

### BAB 2 GERAK LURUS

- A. 2. c      8. b  
4. b      10. c  
6. c
- B. 2.  $\frac{2}{9}$  m/s<sup>2</sup>  
4. a. 10 m/s  
b.  $h = 5$  m       $h_2 = 15$  m

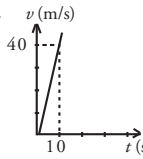
### BAB 3 GERAK MELINGKAR BERATURAN

- A. 2. d      8. d  
4. d      10. d  
6. b
- B. 2. 5 m/s  
4. a.  $\frac{1}{2}$  jam  
b. 18 buah

### BAB 4 HUKUM NEWTON TENTANG GERAK

- A. 2. c      8. d  
4. d      10. a  
6. d
- B. 2. a. 200 N      c. 5 m/s  
b.  $100\sqrt{3}$  N      d. 40 m  
4. 4 m/s<sup>2</sup>

### UJI KOMPETENSI SEMESTER 1

- A. 2. b      12. c      22. d      32. c  
4. c      14. c      24. d      34. d  
6. e      16. c      26. b      36. b  
8. a      18. c      28. b      38. e  
10. a      20. c      30. c      40. e
- B. 2. 8 N      6. a.  $4\pi$  rad/s  
4. a. 40 m/s      b.  $0,4\pi$  m/s  
b.  $v$  (m/s)      8.  $v = 30$  m/s  
 $s = 90$  m  
10. a. 2 m/s<sup>2</sup>  
b. 24 N  
c. 2 s
- 
- c. 200 m

### BAB 5 ALAT-ALAT OPTIK

- A. 2. a      8. c  
4. a      10. a  
6. c
- B. 2. 3,1 dioptri  
4. 180 cm

### BAB 6 SUHU DAN KALOR

- A. 2. c      8. c  
4. a      10. e  
6. e
- B. 2. 8 liter  
4. 33,68 °C

### BAB 7 LISTRIK

- A. 2. c      8. c  
4. a      10. b  
6. e
- B. 2. 1 ohm  
4. 3,6 watt

### BAB 8 GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

- A. 2. b      8. d  
4. a      10. d  
6. b
- B. 2. 5.796 K  
4. 300 km

### UJI KOMPETENSI SEMESTER 2

- A. 2. d      12. a      22. a      32. b  
4. a      14. b      24. c      34. b  
6. b      16. e      26. c      36. c  
8. d      18. e      28. d      38. b  
10. c      20. a      30. a      40. d
- B. 2. 60 cm bayangan maya, tegak, diperbesar  
4. 110 °X  
6. 41°C  
8. a. 0,02 A  
b.  $1,5 \times 10^{19}$  elektron  
10. 10 m s.d. 50 m



## DAFTAR KONSTANTA

Konstanta-Konstanta Dasar			
Besaran	Simbol	Nilai Pendekatan	Nilai Terbaik yang Terakhir
Laju cahaya di ruang hampa	$c$	$3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$	$2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$
Konstanta gravitasi	$G$	$6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{m}^2$	$6,67259 ((85) \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$
Bilangan Avogadro	$N_A$	$6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$6,0221367(36) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Konstanta gas	$R$	$8,315 \text{ J/mol.K} = 1,99 \text{ kal/mol.K}$ $= 0,082 \text{ atm.liter/mol.K}$	$8,314510(70) \text{ J/mol.K}$
Konstanta-Boltzmann	$k$	$1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$	$1,380658(12) \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Muatan elektron	$e$	$1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$	$1,6021733(49) \times 10^{-19} \text{ C}$
Konstanta Stefan Boltzmann	$\sigma$	$5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$	$5,67051(19) \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
Permittivitas hampa udara	$\epsilon_0 = (1/c^2 \mu_0)$	$8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$	$8,854187817... \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$
Permeabilitas hampa udara	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$	$1,2566370614... \times 10^{-6} \text{ T.m/A}$
Konstanta Planck	$h$	$6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$	$6,6260755(40) \times 10^{-34} \text{ J.s}$
Massa diam elektron	$m_e$	$9,11 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0,000549 \text{ u}$ $= 0,511 \text{ MeV}/c^2$	$9,1093897(54) \times 10^{-31} \text{ kg}$ $= 5,48579903(13) \times 10^{-4} \text{ sma}$
Massa diam proton	$m_p$	$1,67726 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1,00728 \text{ u}$ $= 938,3 \text{ MeV}/c^2$	$1,6726231(10) \times 10^{-27} \text{ kg}$ $= 1,007276479(12) \text{ sma}$
Massa diam neutron	$m_n$	$1,6749 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1,00728 \text{ u}$ $= 938,3 \text{ MeV}/c^2$	$1,6749286(10) \times 10^{-27} \text{ kg}$ $= 1,008664904(14) \text{ sma}$
satuan massa atom (sma)	$u$	$1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$	$1,6605402(10) \times 10^{-27} \text{ kg}$ $= 931,49432(28) \text{ MeV}/c^2$

### Daftar Alfabet Yunani

Alpha	A	$\alpha$	Nu	N	$\nu$
Beta	B	$\beta$	Xi	$\Xi$	$\xi$
Gamma	$\Gamma$	$\gamma$	Omicron	O	o
Delta	$\Delta$	$\delta$	Pi	$\Pi$	$\pi$
Epsilon	E	$\epsilon$	Rho	P	$\rho$
Zeta	Z	$\zeta$	Sigma	$\Sigma$	$\sigma$
Eta	H	$\eta$	Tau	T	$\tau$
Theta	$\Theta$	$\theta$	Upsilon	Y	$\upsilon$
Iota	I	$\iota$	Phi	$\Phi$	$\phi, \varphi$
Kappa	K	$\kappa$	Chi	X	$\chi$
Lambda	$\Lambda$	$\lambda$	Psi	$\Psi$	$\psi$
Mu	M	$\mu$	Omega	$\Omega$	$\omega$

### Satuan Turunan SI dan Singkatannya

Besaran	Satuan	Singkatan	Dalam Satuan Dasar
Gaya	newton	N	$\text{kg.m/s}^2$
Energi dan kerja	joule	J	$\text{kg.m}^2/\text{s}^2$
Daya	watt	W	$\text{kg.m}^2/\text{s}^3$
Tekanan	pascal	Pa	$\text{kg}/(\text{m.s}^2)$
Frekuensi	hertz	Hz	$\text{s}^{-1}$
Muatan listrik	coulomb	C	A.s
Potensial listrik	volt	V	$\text{kg.m}^2/(\text{A.s}^3)$
Hambatan listrik	ohm	$\Omega$	$\text{kg.m}^2/(\text{A}^2.\text{s}^3)$
Kapasitansi	farad	F	$\text{A}^2.\text{s}^4/(\text{kg.m}^2)$
Medan listrik	tesla	T	$\text{kg}/(\text{A.s}^2)$
Fluks magnetik	weber	Wb	$\text{kg.m}^2/(\text{A.s}^2)$
Induktansi	henry	H	$\text{kg.m}^2/(\text{s}^2.\text{A}^2)$

## Konversi Satuan (Ekuivalen)

### Panjang

1 inci	= 2,54 cm
1 cm	= 0,394 inci
1 ft	= 30,5 cm
1 m	= 39,37 inci = 3,28 ft
1 mil	= 5.280 ft = 1,61 km
1 km	= 0,621 mil
1 mil laut (U.S)	= 1,15 mil = 6.076 ft = 1,852 km
1 fermi	= 1 femtometer (fm) = $10^{-15}$ m
1 angstrom (Å)	= $10^{-10}$ m
1 tahun cahaya (ly)	= $9,46 \times 10^{15}$ m
1 parsec	= 3,26 ly = $3,09 \times 10^{16}$ m

### Laju

1 mil/h	= 1,47 ft/s = 1,609 km/h = 0,447 m/s
1 km/h	= 0,278 m/s = 0,621 mil/h
1 ft/s	= 0,305 m/s = 0,682 mil/h
1 m/s	= 3,28 ft/s = 3,60 km/h
1 knot	= 1,151 mil/h = 0,5144 m/s

### Sudut

1 radian (rad)	= $57,30^\circ = 57^\circ 18'$
$1^\circ$	= 0,01745 rad
1 rev/min (rpm)	= 0,1047 rad/s

### Volume

1 liter (L)	= 1.000 mL = $1.000 \text{ cm}^3 = 1,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
	= 1,057 quart (U.S) = 54,6 inci <sup>3</sup>
1 gallon (U.S)	= 4 qt (U.S) = $231 \text{ in.}^3 = 3,78 \text{ L}$
	= 0,83 gal (imperial)
1 m <sup>3</sup>	= 35,31 ft <sup>3</sup>

### Massa

1 satuan massa atom (u)	= $1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$
1 kg	= 0,0685 slug
(1 kg mempunyai berat 2,20 lb di mana $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ )	

### Gaya

1 lb	= 4,45 N
1 N	= $10^5$ dyne = 0,225 lb

### Waktu

1 hari	= $8,64 \times 10^4 \text{ s}$
1 tahun	= $3,156 \times 10^7 \text{ s}$

### Tekanan

1 atm	= 1,013 bar = $1,013 \times 10 \text{ N/m}^2$
	= 14,7 lb/inci <sup>2</sup> = 760 torr
1 lb/inci <sup>2</sup>	= $6,90 \times 10^3 \text{ N/m}^2$
1 Pa	= $1 \text{ N/m}^2 = 1,45 \times 10^{-4} \text{ lb/inci}^2$

### Energi dan Kerja

1 J	= $10^7 \text{ ergs} = 0,738 \text{ ft.lb}$
1 ft.lb	= 1,36 J = $1,29 \times 10^{-3} \text{ Btu} = 3,24 \times 10^{-4} \text{ kkal}$
kkal	= $4,18 \times 10^3 \text{ J} = 3,97 \text{ Btu}$
1 eV	= $1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
1 kWh	= $3,60 \times 10^6 \text{ J} = 860 \text{ kkal}$

### Daya

1 W	= 1 J/s = 0,738 ft.lb/s = 3,42 Btu/h
1 hp	= 550 ft.lb/s = 746 W

## Tabel Periodik Unsur

Tabel Periodik Unsur

58	Ce	Serium
59	Pr	Praseodymium
60	Nd	Neodymium
61	Pm	Promethium
62	Sm	Samarium
63	Eu	Europium
64	Gd	Gadolinium
65	Tb	Terbium
66	Dy	Dysprosium
67	Ho	Holmium
68	Er	Erbium
69	Tm	Thulium
70	Yb	Ytterbium
71	Lu	Lutetium
90	Th	Thorium
91	Pa	Protactinium
92	U	Uranium
93	Np	Neptunium
94	Pu	Plutonium
95	Am	Americium
96	Cm	Curium
97	Bk	Berkelium
98	Cf	Californium
99	Es	Einsteinium
100	Fm	Fermium
101	Md	Mendelevium
102	No	Nobelium
103	Lr	Lawrencium

90	Th	Thorium
91	Pa	Protactinium
92	U	Uranium
93	Np	Neptunium
94	Pu	Plutonium
95	Am	Americium
96	Cm	Curium
97	Bk	Berkelium
98	Cf	Californium
99	Es	Einsteinium
100	Fm	Fermium
101	Md	Mendelevium
102	No	Nobelium
103	Lr	Lawrencium

☒ Blok s ☐ Blok p ☐ Blok d ☐ Blok f

## DAFTAR PUSTAKA

- Alan Isaacs. 1994. *Kamus Lengkap Fisika*. Penerjemah Danusantoso. Jakarta: Erlangga.
- Alonso, Finn. 1992. *Fundamental University Physics, 3<sup>rd</sup> edition vol. 1*. New York: Addison Wisley.
- Britannica Encyclopedia. 2004.
- Bucche, F.J. 1989. *Theory and Problems of Physics, 8<sup>th</sup> edition, Schaum Series*. New York: Mc. Graw Hill Inc.
- Bucche, F.J. Jerden, D.A. 1995. *Principles of Physics*. New York: Mc. Graw Hill Inc.
- Burnie, David. 2000. *Jendela Iptek Cahaya, terjemahan Pusat Penerjemahan FSUI*. Jakarta: PT Balai Pustaka.
- Challoner, Jack. 2004. *Jendela Iptek Energi, terjemahan Pusat Penerjemahan FSUI*. Jakarta: PT Balai Pustaka.
- Corbeil, Jean Claude. 2004. *Kamus Visual*. Jakarta: PT Bhuana Ilmu Populer.
- Corrine Stockley, Chris Oxlade, Jane Wertheim. 2000. *Kamus Fisika Bergambar*. Jakarta: Erlangga.
- Encarta Encyclopedia. 2006.
- Esvandiani. 2006. *Smart Fisika SMU*. Jakarta: Puspa Swara.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Jilid 1, terjemahan Yuhilza Hanum*. Jakarta: Erlangga.
- \_\_\_\_\_. 2001. *Fisika Jilid 2, terjemahan Yuhilza Hanum*. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, D. Resnick, R. 1999. *Fisika Jilid 1 terjemahan Pantur Silaban*. Jakarta: Erlangga.
- Ismail Besari. 2005. *Kamus Fisika*. Bandung: Pionir Jaya.
- Janice van Cleave's, 2004. *A+ Proyek-Proyek Fisika Memenangkan Percobaan-Percobaan Ilmiah untuk Lomba dan Pameran Sains dan Mendapatkan Nilai Tambah, terjemahan Firman Alamsyah*. Bandung: Pakar Raya.
- Jawa Pos*, 14 Juli 2006.
- Jawa Pos*, 26 Agustus 2006.
- Joseph, W Kane and Norton M Sternheim, 1996. *Physics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Kompas*, 20 Juli 2006.
- Lafferty, Peter. 1997. *Jendela Iptek Gaya & Gerak, terjemahan Pusat Penerjemahan FSUI*. Jakarta: PT Balai Pustaka.
- Lilik Hidayat Setyawan. 2004. *Kamus Fisika Bergambar*. Bandung: Pakar Raya.

- Mary and John Gribbin. 2004. *Jendela Iptek Ruang & Waktu*, terjemahan Pusat Penerjemahan FSUI. Jakarta: PT Balai Pustaka
- Parker, Steve. 1997. *Jendela Iptek Listrik*, terjemahan Pusat Penerjemahan FSUI. Jakarta: PT Balai Pustaka.
- Peter Soedjo. 2004. *Fisika Dasar*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Steve Setford. 1996. *Buku Saku Fakta Sains*, terjemahan Harini. Jakarta: Erlangga.
- Suroso A.Y, Anna Permanasari, Kardiawarman. 2003, *Ensiklopedi Sains dan Kehidupan*. Jakarta: CV Tarity Samudra Berlian.
- Sutrisno, 1984. *Fisika Dasar: Mekanika*. Bandung: ITB.
- Team Depdiknas. 1979. *Energi, Gelombang, dan Medan*. Jakarta: PT Balai Pustaka.
- Team Depdiknas. *Kurikulum 2004 Mata Pelajaran Fisika SMA dan MA*. Jakarta. *Tempo*, Juni 2005.
- Tempo*, Agustus 2005.
- Tempo*, Desember 2005.
- Tim Ensiklopedi. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 1*. Jakarta: PT Ichtiar Baru van Hoeve.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 2*. Jakarta: PT Ichtiar Baru van Hoeve.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 3*. Jakarta: PT Ichtiar Baru van Hoeve.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 4*. Jakarta: PT Ichtiar Baru van Hoeve.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 5*. Jakarta: PT Ichtiar Baru van Hoeve.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 6*. Jakarta: PT Ichtiar Baru van Hoeve.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 7*. Jakarta: PT Ichtiar Baru van Hoeve.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 8*. Jakarta: PT Ichtiar Baru van Hoeve.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 9*. Jakarta: PT Ichtiar Baru van Hoeve.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 10*. Jakarta: PT Ichtiar Baru van Hoeve.
- Tipler, Paul A. 2001. *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 2*, Terjemahan Bambang Soegijono. Jakarta: Erlangga.
- Young, ILD, Freedman, R.A. 1996. *University Physics*. Addison Wesley Publishing Company.

## GLOSARIUM

akomodasi	: kemampuan mata untuk mencembungkan atau memipihkan lensa mata
amperemeter	: alat untuk mengukur kuat arus listrik
amplitudo	: simpangan maksimum, jarak titik terjauh dihitung dari kedudukan kesimbangan awal
anguler	: sudut
anomali air	: sifat kekecualian air, jika air dipanaskan antara suhu 0 °C sampai 4 °C volumenya akan menyusut
arus listrik	: dianggap sebagai aliran muatan positif karena sebenarnya muatan positif tidak dapat bergerak
astigmatisma	: gejala penyimpangan terbentuknya bayangan lensa atau cermin
bayangan maya	: bayangan semu, bayangan yang tidak dapat ditangkap layar
bayangan nyata	: bayangan yang terbentuk jika terjadi perpotongan sinar pantul atau sinar bias (lensa), dapat ditangkap oleh layar
beda potensial	: selisih tegangan antara ujung-ujung penghantar yang dialiri arus listrik
bilangan Avogadro	: jumlah molekul yang dikandung oleh berat gram molekul suatu zat
cermin	: benda mengkilap pemantul cahaya
daya	: laju perpindahan atau perubahan energi atau besar energi per satuan waktu
dinamika	: ilmu yang mempelajari tentang gerak dan gaya penyebabnya
dioptri	: ukuran atau satuan kuat lensa atau cermin
efisiensi	: rendemen atau daya guna, ukuran perbandingan pada proses transfer energi
energi	: daya kerja atau tenaga, kemampuan untuk melakukan usaha
filamen	: suatu benang logam atau kaca yang berupa kawat kecil yang digulung seperti spiral, merupakan elemen pemanas bohlam lampu pijar
fokus	: titik api lensa atau cermin, tempat bertemunya berkas cahaya yang sejajar sumbu utama
frekuensi	: jumlah suatu getaran atau putaran setiap waktu
galvanometer	: alat ukur arus listrik yang sangat kecil
gaya	: suatu besaran yang menyebabkan benda bergerak
gerak	: perubahan posisi (kedudukan) suatu benda terhadap acuan tertentu
gerak lurus	: gerak yang lintasannya berupa garis lurus
gerak melingkar	: gerak yang lintasannya berupa lingkaran
gravitasi	: percepatan yang timbul sebagai akibat adanya gaya gravitasi bumi
hambatan jenis	: kecenderungan suatu bahan untuk melawan aliran arus listrik
iris	: alat atau organ yang mampu mengatur jumlah cahaya yang masuk dalam suatu alat optik
isolator	: bahan yang mempunyai sifat dapat mengisolasi dengan baik
jangka sorong	: alat untuk mengukur panjang, tebal, kedalaman lubang dan diameter luar maupun diameter dalam suatu benda dengan batas ketelitian 0,1 mm
kalor	: salah satu bentuk energi yang dapat mengakibatkan perubahan suhu
kalor laten	: kalor terpendam, kalor tersembunyi
kalorimeter	: alat untuk menentukan kalor jenis suatu zat
kamera	: alat untuk merekam bayangan yang dibentuk oleh cahaya tampak atau penyinaran elektromagnetik lain
kapasitas kalor	: banyak kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu benda sebesar 1 kelvin
kecepatan	: lintasan benda bergerak tiap waktu
kinematika	: studi tentang gerak dari objek

konduksi	: perpindahan kalor melalui suatu bahan yang tidak disertai perpindahan bahan itu
konveksi	: proses perpindahan energi disertai perpindahan molekul zat akibat perbedaan massa jenis
lensa	: zat optis atau benda bening yang dibatasi oleh dua bidang lengkung atau bidang lengkung dengan bidang datar
lup	: kaca pembesar, lensa positif tunggal dengan jarak fokus kecil berfungsi untuk melihat benda-benda kecil sehingga tampak jelas
manometer	: alat pengukur tekanan udara di dalam ruang tertutup
massa jenis	: rapat massa, merupakan perbandingan antara massa benda dengan volumenya
membeku	: proses perubahan bentuk dari cair menjadi padat
mencair	: proses perubahan bentuk benda padat menjadi cair
menguap	: proses perubahan bentuk dari cair menjadi uap
menyublim	: proses perubahan benda padat menjadi gas
mikrometer	: alat ukur ketebalan benda yang relatif tipis
mikroskop	: alat optik untuk mengamati benda-benda renik (sangat kecil)
ohmmeter	: alat ukur hambatan
paralel	: sejajar; rangkaian beberapa komponen yang dipasang sejajar dan ujung-ujungnya bertemu pada satu titik
presbiopi	: mata tua, yaitu mata tidak dapat melihat dengan jelas pada jarak yang jauh maupun jarak baca normal
punctum remotum	: jarak terjauh mata dengan benda, dalam hal ini mata masih dapat melihat benda dengan jelas dalam keadaan berakomodasi maksimum
rabun dekat	: hipermetropi atau lihat jauh, hanya dapat melihat benda jauh akibat lensa mata terlalu pipih
rabun jauh	: cacat mata yang hanya dapat melihat benda-benda dekat
radiasi	: perpindahan kalor tanpa zat perantara
seri	: sistem hubungan komponen listrik dengan cara menyambung langsung
sistem CGS	: sistem satuan kecil yang menggunakan satuan sentimeter (cm), gram (g), dan sekon (s)
sistem MKS	: sistem dinamis besar terdiri atas meter, kilogram, dan sekon
skala Celcius	: tingkatan panas menurut skala derajat termometer Celsius
skala Fahrenheit	: ukuran suhu menurut termometer Fahrenheit
skala Kelvin	: satuan suhu mutlak dalam termodinamika
teleskop (teropong astronomi)	: alat optik yang berfungsi untuk mengamati benda-benda yang letaknya jauh agar diperoleh bayangan maya dan diperbesar
termometer	: alat ukur suhu
teropong bumi	: alat optik untuk melihat benda jauh agar tampak dekat, dengan bayangan maya dan diperbesar
titik didih	: suhu pada saat terjadinya perubahan wujud dari cair menjadi uap
titik lebur	: suhu pada saat terjadinya perubahan wujud zat dari padat menjadi cair
usaha	: kerja
vektor	: besaran yang mempunyai nilai dan arah
voltmeter	: alat ukur beda potensial

## Uji Kompetensi Semester 2

### A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

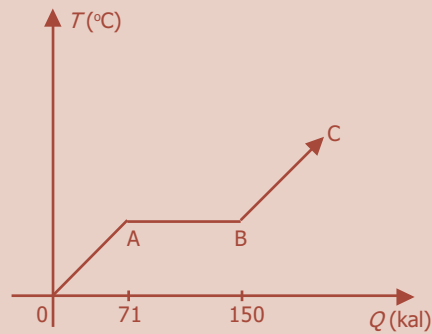
1. Mata dapat melihat sebuah benda apabila terbentuk bayangan ... .
  - a. maya, tegak, dan jatuh di lensa mata
  - b. nyata, tegak, dan jatuh di retina
  - c. maya, tegak, dan jatuh di retina
  - d. maya, terbalik, dan jatuh di retina
  - e. nyata, terbalik, dan jatuh di retina
2. Seseorang yang mempunyai titik dekat 120 cm ingin melihat sebuah benda yang terletak 30 cm di depan mata. Kekuatan lensa kaca mata yang harus digunakan adalah ... .
  - a. -2,5 D
  - b. -4,16 D
  - c. -5 D
  - d. 2,5 D
  - e. 4,16 D
3. Seseorang yang bermata normal mengamati dengan lup berkekuatan 20 D. Jika benda diletakkan 5 cm di depan lup, perbesaran yang terjadi adalah ... .
  - a. 3 kali
  - b. 4 kali
  - c. 5 kali
  - d. 5,2 kali
  - e. 6 kali
4. Seseorang yang bermata terang dekat dengan titik jauh 2 m hendak menggunakan lup yang memiliki jarak fokus 12,5 cm. Jika orang tersebut membaca dengan tidak berakomodasi, maka perbesaran lup adalah ... .
  - a. 2 kali
  - b. 3 kali
  - c. 4 kali
  - d. 5 kali
  - e. 6 kali
5. Seorang penderita presbiopi memakai lensa bagian atas dan bawah masing-masing berkekuatan -0,2 D dan +5 D. Batas-batas penglihatan orang tersebut adalah ... .
  - a.  $(0,2 < x < 0,2)$  meter
  - b.  $(0,4 \leq x \leq 5)$  meter
  - c.  $(0,5 \leq x \leq 2)$  meter
  - d.  $(0,4 \leq x \leq 4)$  meter
  - e.  $(0,5 \leq x \leq 5)$  meter
6. Dalam sebuah mikroskop, bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif adalah ... .
  - a. nyata, tegak, dan diperbesar
  - b. nyata, terbalik, dan diperbesar
  - c. nyata, terbalik, dan diperkecil
  - d. maya, tegak, dan diperbesar
  - e. maya, tegak, dan diperkecil



7. Sebuah mikroskop mempunyai lensa objektif dan okuler yang jarak fokusnya masing-masing 0,8 cm dan 5 cm. Seseorang memasang preparat 10 cm di depan lensa objektif untuk diamati melalui lensa okuler tanpa akomodasi. Bila objek preparat mempunyai panjang 0,5 mm dan jarak baca normal orang tersebut 25 cm, maka panjang objek tersebut akan terlihat menjadi ... .
  - a. 7,5 mm
  - b. 10 mm
  - c. 12,5 mm
  - d. 15 mm
  - e. 20 mm
8. Untuk membuat sebuah teropong sederhana dengan perbesaran empat kali, berikut ini pasangan lensa yang dapat digunakan dengan jarak fokus masing-masing sebesar ... .
  - a. 2 cm dan 2 cm
  - b. 5 cm dan 1 cm
  - c. 20 cm dan 2 cm
  - d. 20 cm dan 5 cm
  - e. 40 cm dan 1 cm
9. Sebuah teropong yang menggunakan lensa okuler berjarak fokus 4 cm digunakan untuk melihat bintang. Jika panjang teropong 58 cm, maka jarak fokus objektifnya adalah ... .
  - a. 50 cm
  - b. 54 cm
  - c. 58 cm
  - d. 60 cm
  - e. 62 cm
10. Sebuah teropong bumi mempunyai jarak fokus lensa objektif, pembalik, dan okuler masing-masing 50 cm, 10 cm, dan 2,5 cm. Panjang teropong tersebut adalah ... .
  - a. 62,5 cm
  - b. 70,0 cm
  - c. 92,5 cm
  - d. 212,5 cm
  - e. 330,0 cm
11. Termometer Celsius dan Fahrenheit akan menunjukkan skala yang sama pada suhu ... .
  - a.  $0^{\circ}$
  - b.  $-40^{\circ}$
  - c.  $-23,6^{\circ}$
  - d.  $-17,7^{\circ}$
  - e.  $32^{\circ}$
12. Suatu batang baja yang panjangnya 1 m, suhunya dinaikkan dari  $0^{\circ}\text{C}$  menjadi  $100^{\circ}\text{C}$  hingga bertambah panjang 1 mm. Koefisien panjang baja tersebut adalah ... .
  - a.  $1 \times 10^{-5} /^{\circ}\text{C}$
  - b.  $2 \times 10^{-5} /^{\circ}\text{C}$
  - c.  $1 \times 10^{-4} /^{\circ}\text{C}$
  - d.  $2 \times 10^{-4} /^{\circ}\text{C}$
  - e.  $1 \times 10^{-3} /^{\circ}\text{C}$
13. Jika suatu zat mempunyai kalor jenis besar, maka zat tersebut ... .
  - a. cepat mendidih
  - b. lambat mendidih
  - c. lambat melebur
  - d. lambat naik suhunya jika dipanaskan
  - e. cepat naik suhunya jika dipanaskan

14. Jika 75 gram air yang suhunya  $0^{\circ}\text{C}$  dicampur dengan 50 gram air yang suhunya  $100^{\circ}\text{C}$ , maka suhu akhir campuran tersebut adalah ... .
- $25^{\circ}\text{C}$
  - $40^{\circ}\text{C}$
  - $60^{\circ}\text{C}$
  - $65^{\circ}\text{C}$
  - $75^{\circ}\text{C}$

15.

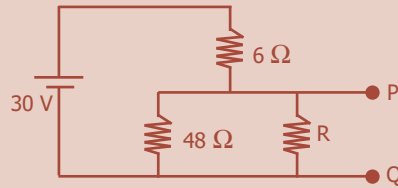


Grafik di bawah ini menyatakan hubungan antara suhu ( $T$ ) dengan kalor ( $Q$ ) yang diberikan pada 1 gram zat padat. Besar kalor lebur zat padat tersebut ... .

- 71 kal/g
  - 79 kal/g
  - 80 kal/g
  - 81 kal/g
  - 150 kal/g
16. Sebanyak 100 gram es bersuhu  $-5^{\circ}\text{C}$  dicampur dengan 200 gram air bersuhu  $30^{\circ}\text{C}$  pada tekanan 1 atm. Kalor jenis es  $0,5 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$  dan kalor lebur es adalah  $80 \text{ kal/g}$ . Jika hanya terjadi pertukaran kalor antara air dan es, maka pada keadaan akhir ... .
- suhu seluruhnya di atas  $0^{\circ}\text{C}$
  - suhu seluruhnya di bawah  $0^{\circ}\text{C}$
  - suhu seluruhnya  $0^{\circ}\text{C}$  dan semua es melebur
  - suhu seluruhnya  $0^{\circ}\text{C}$  dan semua air membeku
  - suhu seluruhnya  $0^{\circ}\text{C}$  dan sebagian es melebur
17. Dua batang logam sejenis A dan B luas penampangnya berbanding  $2 : 1$ , sedangkan panjangnya berbanding  $4 : 3$ . Bila selisih suhu ujung-ujung kedua batang logam tersebut sama, maka perbandingan jumlah hantaran kalor tiap satuan waktu pada A dan B adalah ... .
- $2 : 3$
  - $3 : 2$
  - $8 : 3$
  - $3 : 8$
  - $1 : 1$
18. Jumlah kalor yang dipancarkan oleh sebuah benda yang suhunya lebih besar dari  $0 \text{ K}$  berbanding lurus dengan ... .
- suhunya
  - pangkat dua dari suhunya
  - suhu sekelilingnya
  - massa benda itu
  - luas permukaan benda
19. Suatu benda hitam pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$  memancarkan energi sebesar  $W$ . Benda hitam tersebut dipanasi hingga suhunya menjadi  $327^{\circ}\text{C}$ . Energi yang dipancarkan menjadi ... .
- $2W$
  - $4W$
  - $6W$
  - $12W$
  - $16W$

20. Bila terkena pancaran matahari kenaikan suhu lautan lebih lambat daripada kenaikan suhu daratan, karena:
- (1) kalor jenis air lebih besar,
  - (2) warna daratan lebih kelam,
  - (3) air lautan selalu bergerak, dan
  - (4) air lautan penyerap kalor yang baik.
- Pernyataan yang benar adalah ... .
- a. (1), (2), dan (3)
  - b. (1) dan (3)
  - c. (2) dan (4)
  - d. (4)
  - e. (1), (2), (3) dan (4)
21. Bila arus 2 A mengalir pada kawat penghantar yang kedua ujungnya mempunyai beda potensial 6 V, besar muatan per menit yang mengalir melalui kawat adalah ... .
- a. 12 C
  - b. 20 C
  - c. 60 C
  - d. 120 C
  - e. 240 C
22. Tiga buah hambatan masing-masing  $9\ \Omega$ ,  $3\ \Omega$ , dan  $27\ \Omega$  dirangkai paralel. Perbandingan kuat arus yang mengalir pada masing-masing hambatan adalah ... .
- a. 3 : 9 : 1
  - b. 1 : 9 : 3
  - c. 3 : 1 : 9
  - d. 9 : 3 : 1
  - e. 1 : 3 : 9
23. Sebuah peralatan listrik dilalui arus sebesar 0,8 A. Jika muatan satu elektron  $1,6 \times 10^{-19}\text{ C}$ , maka dalam waktu 1 jam jumlah elektron yang mengalir adalah ... .
- a.  $1,28 \times 10^{-19}$  elektron
  - b.  $2 \times 10^{-19}$  elektron
  - c.  $7,2 \times 10^{-16}$  elektron
  - d.  $5 \times 10^{18}$  elektron
  - e.  $1,8 \times 10^{22}$  elektron
24. Suatu alat pemanas listrik memakai arus 5 A bila dihubungkan dengan sumber tegangan 110 V. Maka hambatannya adalah ... .
- a.  $0,05\ \Omega$
  - b.  $5\ \Omega$
  - c.  $22\ \Omega$
  - d.  $110\ \Omega$
  - e.  $550\ \Omega$
25. Faktor-faktor yang menentukan besar hambatan jenis suatu kawat penghantar adalah:
- (1) panjang kawat,
  - (2) suhu kawat,
  - (3) luas penampang kawat, dan
  - (4) bahan kawat.
- Pernyataan yang benar adalah ... .
- a. (1) dan (3)
  - b. (2) dan (4)
  - c. (1), (3), dan (4)
  - d. (1), (2), (3), dan (4)
  - e. (4)

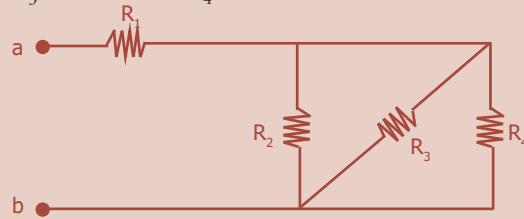
26. Perhatikan rangkaian berikut!



Jika tegangan antara P dan Q adalah 5 V, maka nilai hambatan  $R$  adalah ... .

- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| a. $1,0 \, \Omega$  | d. $1,6 \, \Omega$ |
| b. $1,23 \, \Omega$ | e. $2,4 \, \Omega$ |
| c. $1,4 \, \Omega$  |                    |

27. Untuk rangkaian pada gambar di bawah ini diketahui  $R_1 = 7 \, \Omega$ ,  $R_2 = 6 \, \Omega$ ,  $R_3 = 3 \, \Omega$ , dan  $R_4 = 2 \, \Omega$ .



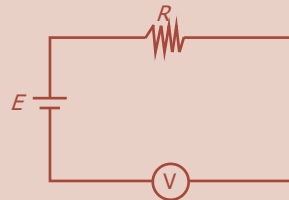
Jika ujung a-b dihubungkan pada beda potensial 10 V, maka:

- (1) hambatan pengganti sebesar  $8 \, \Omega$ ,
- (2) arus pada  $R_1$  sebesar 1,43 A,
- (3) arus pada  $R_2$  sebesar 1,67 A, dan
- (4) arus pada  $R_3$  sebesar 3,33 A.

Pernyataan yang benar adalah ... .

- |                |                          |
|----------------|--------------------------|
| a. (1) dan (2) | d. (1), (2), dan (3)     |
| b. (2) dan (3) | e. (1), (2), (3) dan (4) |
| c. (3) dan (4) |                          |

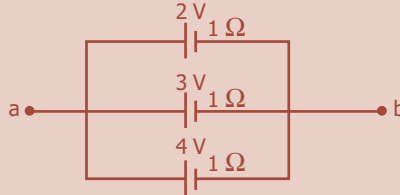
28. Untuk mengukur hambatan  $R$  dipakai suatu rangkaian seperti pada gambar. Baterai  $E$  dengan ggl 12 V yang hambatan dalamnya diabaikan, dihubungkan seri dengan hambatan  $R$  dan voltmeter (V) yang hambatannya  $20 \, k\Omega$ . Jika pembacaan voltmeter 2 V, besar hambatan yang dicari adalah ... .



- |                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| a. $20 \, k\Omega$ | d. $100 \, k\Omega$ |
| b. $50 \, k\Omega$ | e. $120 \, k\Omega$ |
| c. $75 \, k\Omega$ |                     |

29. Tiga buah elemen berbeda kutub-kutub positifnya dihubungkan ke titik a dan kutub-kutub negatifnya dihubungkan ke titik b. Ggl dan hambatan dalam tiap elemen ditunjukkan oleh gambar di bawah ini. Beda potensial antara a dan b adalah ... .

- 12/13 volt
- 1,2 volt
- 2,8 volt
- 3 volt
- 9 volt



30. Sebuah ammeter terdiri dari galvanometer yang dapat dialiri arus listrik maksimum 1 mA dengan resistansi  $2\ \Omega$  dan dirangkai paralel dengan resistor sebesar  $2 \times 10^{-4}\ \Omega$ . Dengan demikian ammeter dapat digunakan untuk mengukur arus listrik sampai ... .

- 10 A
- 10,001 A
- 10,01 A
- 10,1 A
- 11 A

31. Gelombang elektromagnetik dapat merambat ... .

- melalui udara saja
- melalui medium apa saja
- tanpa melalui medium
- melalui medan magnet dan medan listrik saja
- seperti gelombang bunyi

32. Kerapatan fluks magnetik di suatu tempat yang dilalui gelombang elektromagnetik setiap saat besarnya ... .

- sama dengan kuat medan listrik
- sebanding dengan kuat medan listrik
- berbanding terbalik dengan kuat medan listrik
- berbanding terbalik dengan kuat medan magnet
- sebanding dengan kuadrat jumlah garis gaya magnet

33. Semua bentuk gelombang elektromagnetik akan mempunyai kesamaan dalam hal ... .

- panjang gelombang
- frekuensi
- fase
- amplitudo
- kelajuan dalam udara/vakum

34. Pernyataan-pernyataan berikut ini benar tentang gelombang elektromagnetik, *kecuali* ... .

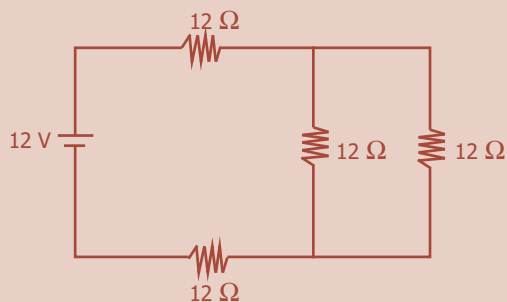
- gelombang transversal
- gelombang longitudinal
- dapat dipantulkan
- dapat dibiaskan
- dapat dipolarisasikan

35. Gelombang elektromagnetik di bawah ini yang mempunyai panjang gelombang paling besar adalah ... .
- gelombang radio
  - sinar-X
  - sinar gamma
  - sinar ultraviolet
  - sinar inframerah
36. Energi gelombang elektromagnetik adalah berbanding lurus terhadap frekuensinya. Maka dari pancaran gelombang elektromagnetik di bawah ini yang paling besar energinya adalah ... .
- sinar merah
  - sinar ungu
  - sinar gamma
  - sinar-X
  - gelombang radio
37. Jika kuat medan magnet maksimum dari pancaran gelombang elektromagnetik sebesar  $4 \times 10^{-7}$  T, maka kuat medan listrik maksimumnya adalah ... .
- 1,2 volt/m
  - 2,4 volt/m
  - 12 volt/m
  - 24 volt/m
  - 120 volt/m
38. Seberkas sinar-X dengan panjang gelombang  $1,5 \text{ \AA}$  mempunyai frekuensi sebesar ... .
- $1 \times 10^{18} \text{ Hz}$
  - $2 \times 10^{18} \text{ Hz}$
  - $3 \times 10^{18} \text{ Hz}$
  - $4 \times 10^{18} \text{ Hz}$
  - $5 \times 10^{18} \text{ Hz}$
39. Suatu pemancar radio terdiri dari rangkaian  $L$ - $C$  masing-masing besarnya  $\frac{1}{6} \text{ H}$  dan  $1,5 \text{ pF}$ . Jika kecepatan cahaya dalam udara sebesar  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , maka panjang gelombang radio yang dipancarkan adalah ... .
- $100 \pi \text{ meter}$
  - $150 \pi \text{ meter}$
  - $200 \pi \text{ meter}$
  - $250 \pi \text{ meter}$
  - $300 \pi \text{ meter}$
40. Jika sebuah gelombang elektromagnetik merambat di hampa udara dengan amplitudo gelombang medan magnet sebesar  $8 \times 10^{-7} \text{ T}$ , maka amplitudo dari gelombang medan listrik adalah ... .
- $0,5 \text{ V/m}$
  - $48 \text{ V/m}$
  - $120 \text{ V/m}$
  - $240 \text{ V/m}$
  - $480 \text{ V/m}$

**B. Jawablah dengan singkat dan benar!**

- Seorang penderita miopi memakai kacamata yang kekuatan lensanya  $-2,0 \text{ D}$ . Berapakah jarak titik jauh mata orang tersebut?
- Suatu lup dengan perbesaran 8 kali diletakkan pada jarak  $4 \text{ cm}$  dari sebuah objek. Jika jarak titik dekat mata pengamat  $30 \text{ cm}$ , tentukan letak dan sifat bayangan!

3. Sebuah mikroskop mempunyai lensa objektif dan okuler dengan jarak fokus 1 cm dan 3 cm. Sebuah benda diletakkan 1,2 cm di depan lensa objektif. Jika panjang mikroskop 10 cm, tentukan perbesaran mikroskop tersebut!
4. Pada sebuah termometer X, titik beku air adalah  $50^{\circ}\text{X}$  dan titik didih air  $200^{\circ}\text{X}$ . Bila suhu suatu benda diukur dengan termometer Celsius, maka:
  - a. berapa suhu  $40^{\circ}\text{C}$  jika diukur dengan termometer X,
  - b. pada angka berapa kedua skala menunjukkan angka yang sama?
5. Sejumlah gas volume 60 liter pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$  berada pada suatu wadah yang volumenya bebas memuai, sementara tekanannya dijaga konstan. Tentukan volume gas pada suhu  $127^{\circ}\text{C}$ !
6. Sepotong aluminium yang massanya 200 gram dipanaskan sampai suhunya mencapai  $90^{\circ}\text{C}$ , kemudian segera dijatuhkan ke dalam suatu bejana yang berisi 100 gram air pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$ . Dengan mengabaikan pertukaran kalor terhadap lingkungan sekitar dan kalor yang diserap bejana, hitunglah suhu akhir campuran! (Kalor jenis aluminium  $900 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ , kalor jenis air  $4.200 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ )
7. Permukaan dalam suatu dinding rumah dijaga bersuhu tetap  $20^{\circ}\text{C}$  pada saat suhu udara luar adalah  $10^{\circ}\text{C}$ . Berapa banyak kalor yang hilang karena konveksi alami pada dinding yang berukuran  $8 \text{ m} \times 4 \text{ m}$  selama sehari? (Anggap koefisien konveksi rata-rata  $3,5 \text{ J/s}\cdot\text{m}^2$ )
8. Suatu kawat penghantar dalam waktu 2 menit dilewati oleh muatan 2,4 C. Tentukan:
  - a. kuat arus dalam penghantar,
  - b. jumlah elektron yang melewati penghantar bila besar muatan elektron  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ !
9. Perhatikan rangkaian berikut!

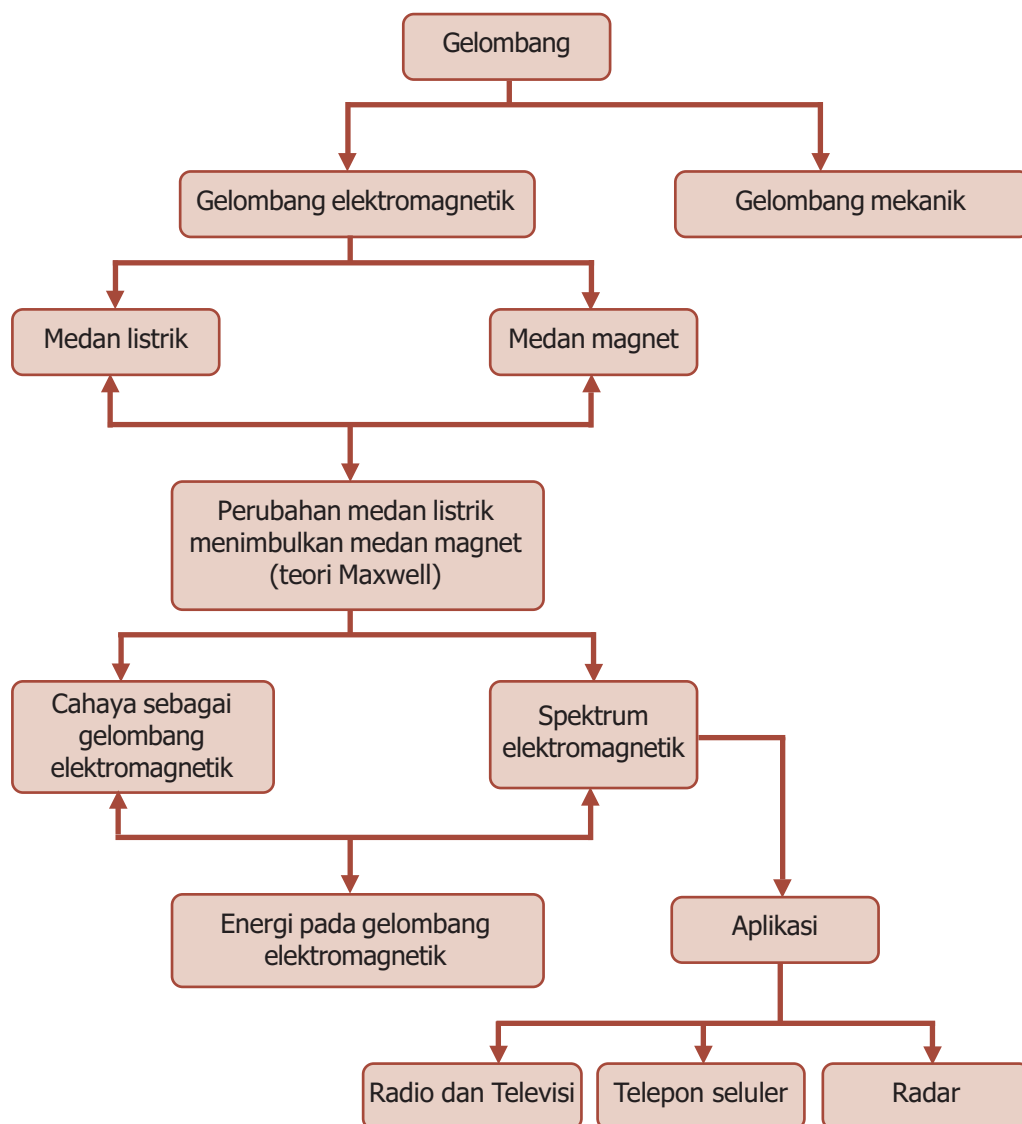


Tentukan kuat arus listrik yang mengalir pada masing-masing hambatan!

10. Sebuah pemancar radio bekerja pada daerah frekuensi 30 MHz dan 6 MHz. Berapa panjang gelombang yang dapat ditangkap?

# PETA KONSEP

## Bab 8 Gelombang Elektromagnetik





# BAB

## 8

## GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK



- Televisi memanfaatkan gelombang elektromagnetik.

Sumber: *Dokumen Penerbit*, 2006

**A**pakah kalian sering mendengarkan radio atau menonton televisi? Sebenarnya radio dan televisi dapat kalian dengar dan lihat karena adanya gelombang yang sampai ke mata dan telinga kalian yang dipancarkan dari stasiun pemancar. Bagaimana gelombang itu dapat membawa berita dan suara kepada kalian? Dan bagaimanakah bentuk gelombang itu? Untuk mengetahuinya ikutilah uraian berikut ini.

## Kata Kunci

gelombang,  
gelombang elektromagnetik,  
medan listrik,  
medan magnet

Di SMP kalian pernah mempelajari gelombang mekanik, yaitu gelombang yang di dalam perambatannya memerlukan medium, misalnya gelombang pada tali, gelombang permukaan air, dan gelombang bunyi. Pada bab ini, kita akan mempelajari konsep gelombang elektromagnetik, yaitu gelombang yang di dalam perambatannya tidak memerlukan medium. Dengan kata lain, gelombang elektromagnetik dapat merambat di dalam ruang hampa.

Prediksi teoritis mengenai gelombang elektromagnetik merupakan hasil karya fisikawan Skotlandia bernama *James Clerk Maxwell* (1831 - 1879), dalam sebuah teori yang menggabungkan seluruh fenomena kelistrikan dan kemagnetan.



## Perubahan Medan Listrik Menimbulkan Medan Magnet

BETA<sup>®</sup> Berita Fisika



James Clerk Maxwell (1831 - 1879) memperkirakan keberadaan gelombang radio sebelum Hertz memperagakannya.

Pengembangan teori elektromagnetik pada awal abad ke-19 oleh Oersted dan Ampere sebenarnya tidak dibuat dalam konteks medan listrik dan medan magnet. Gagasan tentang medan magnet dikemukakan oleh Faraday dan tidak digunakan secara umum. Pada akhirnya, Maxwell menunjukkan bahwa fenomena listrik dan magnet dapat digambarkan dengan menggunakan persamaan yang melibatkan medan listrik dan medan magnet. Persamaan yang dinamakan persamaan Maxwell merupakan persamaan dasar untuk elektromagnet.

Hipotesis yang dikemukakan oleh Maxwell, mengacu pada tiga aturan dasar listrik-magnet berikut ini.

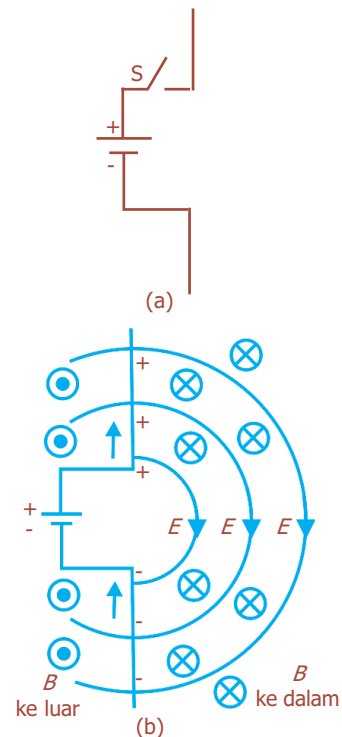
1. Muatan listrik dapat menghasilkan medan listrik di sekitarnya (Hukum Coulomb).
2. Arus listrik atau muatan listrik yang mengalir dapat menghasilkan medan magnet di sekitarnya (Hukum Biot-Savart).
3. Perubahan medan magnet dapat menghasilkan medan listrik (Hukum Faraday).

Berdasarkan aturan tersebut, Maxwell mengemukakan sebuah hipotesis sebagai berikut: *“Karena perubahan medan magnet dapat menimbulkan medan listrik, maka perubahan medan listrik pun akan dapat menimbulkan perubahan medan magnet”*. Hipotesis tersebut digunakan untuk menerangkan terjadinya gelombang elektromagnet.

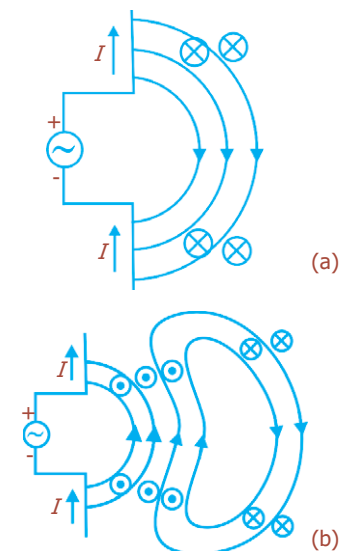
Maxwell melakukan eksperimen pada dua buah isolator, masing-masing diikat pada ujung pegas dan diberi muatan yang berbeda (positif dan negatif). Kemudian, pegas digetarkan sehingga jarak antara kedua muatan berubah-ubah, yang mengakibatkan kedua muatan tersebut menimbulkan medan listrik yang berubah-ubah. Perubahan medan listrik tersebut akan menimbulkan medan magnet yang berubah-ubah pula. Dan dari perubahan medan magnet yang terjadi, akan menimbulkan kembali medan listrik. Demikian seterusnya sehingga terjadi proses yang tidak terputus. Perambatan medan listrik  $E$  dan medan magnet  $B$  tegak lurus satu sama lain secara bersamaan disebut **gelombang elektromagnet**.

Bila kita perhatikan dua batang penghantar yang difungsikan sebagai sebuah “antena” tampak seperti pada Gambar 8.1(a). Jika kedua ujung antenna tersebut dihubungkan dengan kutub-kutub sebuah sumber tegangan (misalnya baterai) melalui sebuah sakelar, ketika sakelar ditutup, batang atas bermuatan positif dan bawah bermuatan negatif, sehingga medan listrik akan terbentuk, seperti yang ditunjukkan oleh garis-garis pada Gambar 8.1(b). Ketika muatan mengalir, muncul arus yang arahnya ditunjukkan oleh tanda panah. Oleh karena itu, di sekitar antenna akan muncul medan magnet. Garis-garis medan magnet ( $B$ ) tersebut mengelilingi kawat sehingga pada bidang gambar,  $B$  masuk  $\otimes$  pada bagian kanan dan keluar ( $\odot$ ) di bagian kiri. Medan magnet dan medan listrik sama-sama menyimpan energi, dan energi ini tidak bisa dipindahkan ke tempat yang jauh dengan kecepatan tak terhingga.

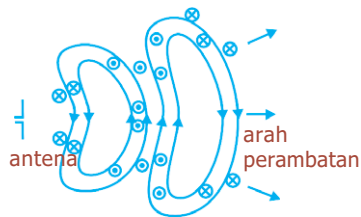
Selanjutnya, kita perhatikan bila antenna dihubungkan dengan generator AC, tampak seperti pada Gambar 8.2. Pada Gambar 8.2(a) hubungan baru saja terkoneksi dan tanda (+) dan (-) menunjukkan jenis muatan pada setiap batang. Tanda panah menunjukkan arah arus. Medan listrik ditunjukkan oleh garis-garis pada bidang gambar, sedangkan medan magnet sesuai dengan kaidah tangan kanan yaitu mengarah ke dalam  $\otimes$  atau ke luar ( $\odot$ ) bidang gambar. Pada Gambar 8.2(b), arah ggl generator AC telah berubah sehingga arus jadi terbalik dan medan magnet baru memiliki arah yang berlawanan. Dengan demikian, perubahan medan magnet menghasilkan medan listrik dan perubahan medan listrik menghasilkan medan magnet.



**Gambar 8.1** Medan yang dihasilkan oleh muatan yang mengalir ke konduktor.



**Gambar 8.2** Medan magnet dan medan listrik yang menyebar keluar.



**Gambar 8.3** Kuat medan listrik dan medan magnet.

Nilai  $E$  dan  $B$  pada medan radiasi diketahui berkurang terhadap jarak dengan perbandingan  $1/r$ . Energi yang dibawa oleh gelombang elektromagnetik (gelombang pada umumnya) sebanding dengan kuadrat amplitudo ( $E^2$  atau  $B^2$ ), sehingga intensitas gelombang berkurang sebanding dengan  $1/r^2$ .

Bila ggl sumber berubah secara sinusoidal, kuat medan listrik dan medan magnet pada medan radiasi juga akan berubah secara sinusoidal. Sifat sinusoidal gelombang elektromagnetik ditunjukkan pada Gambar 8.3, yang menunjukkan kuat medan yang digambarkan sebagai fungsi posisi. Arah getaran  $B$  dan  $E$  tegak lurus satu sama lain, dan tegak lurus terhadap arah rambatannya. Gelombang ini disebut **gelombang elektromagnetik (EM)**. Gelombang elektromagnetik termasuk jenis gelombang transversal.

Gelombang elektromagnetik dihasilkan oleh muatan listrik yang berosilasi, yang mengalami percepatan. Secara umum dapat dikatakan bahwa muatan listrik yang dipercepat menimbulkan gelombang elektromagnetik. Kecepatan atau cepat rambat gelombang elektromagnetik di udara atau ruang hampa dirumuskan:

$$v = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \dots\dots\dots (8.1)$$

Persamaan (8.1) tersebut, diturunkan sendiri oleh Maxwell, kemudian dengan memasukkan nilai dari  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{M.m}^2$ , dan  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N.s}^2/\text{C}^2$  didapatkan:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s} \approx 3,00 \times 10^8 \text{ m/s} \dots\dots (8.2)$$

Nilai  $v \approx 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$  tersebut sama dengan laju cahaya yang diukur. Di mana  $\epsilon_0$  adalah tetapan permitivitas ruang hampa dan  $\mu_0$  adalah tetapan permeabilitas ruang hampa.



## Cahaya sebagai Gelombang Elektromagnetik dan Spektrum Elektromagnetik



Pancaran elektromagnetik membentuk seluruh spektrum gelombang yang panjangnya berbeda-beda. Cahaya merah misalnya, mempunyai panjang gelombang kira-kira 650 nanometer (1 nanometer =  $10^{-9} \text{ m}$ ).

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan Maxwell, kecepatan gelombang elektromagnetik di ruang hampa adalah sebesar  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , yang nilainya sama dengan laju cahaya terukur. Hal ini membuktikan bahwa cahaya merupakan gelombang elektromagnetik. Pernyataan Maxwell diperkuat oleh Heinrich Hertz (1857 - 1894).

Dalam eksperimennya, Hertz menggunakan perangkat celah bunga api di mana muatan digerakkan bolak-balik dalam waktu singkat, membangkitkan gelombang berfrekuensi sekitar  $10^9$  Hz. Ia mendeteksi gelombang tersebut dari jarak tertentu dengan menggunakan loop kawat yang bisa membangkitkan ggl jika terjadi perubahan medan magnet. Gelombang ini dibuktikan merambat dengan laju  $3 \times 10^8$  m/s, dan menunjukkan seluruh karakteristik cahaya (pemantulan, pembiasan, dan interferensi).

Panjang gelombang cahaya tampak mempunyai rentang antara  $4,0 \times 10^{-7}$  m hingga  $7,5 \times 10^{-7}$  m (atau 400 nm hingga 750 nm). Frekuensi cahaya tampak dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut ini.

$$c = f \cdot \lambda \text{ atau } f = \frac{c}{\lambda} \dots\dots\dots (8.3)$$

dengan:


- $f$  = frekuensi gelombang (Hz)
- $\lambda$  = panjang gelombang (m)
- $c$  = laju cahaya ( $\approx 3 \times 10^8$  m/s)

Berdasarkan persamaan (8.3), kita dapat menentukan frekuensi cahaya tampak bernilai antara  $4,0 \times 10^{14}$  Hz hingga  $7,5 \times 10^{14}$  Hz.

Cahaya tampak hanyalah salah satu jenis gelombang elektromagnetik yang terdeteksi dalam interval yang lebar, dan dikelompokkan dalam **spektrum elektromagnetik**, yaitu daerah jangkauan panjang gelombang yang merupakan bentangan radiasi elektromagnetik.

Gelombang radio dan gelombang mikro dapat dibuat di laboratorium menggunakan peralatan elektronik. Gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang lebih tinggi sangat sulit dibuat secara elektronik. Gelombang elektromagnetik dapat terbentuk secara alamiah, seperti pancaran dari atom, molekul, dan inti atom. Misalnya, sinar-X dihasilkan oleh elektron berkecepatan tinggi yang diperlambat secara mendadak ketika menumbuk logam. Cahaya tampak yang dihasilkan melalui suatu pijaran juga disebabkan karena elektron yang mengalami percepatan di dalam filamen panas.

Radiasi inframerah memegang peranan penting pada efek pemanasan Matahari. Matahari tidak hanya memancarkan cahaya tampak, tetapi juga inframerah (IR) dan ultraviolet (UV) dalam jumlah yang tetap. Manusia menerima gelombang elektromagnetik dengan cara yang berbeda-beda tergantung pada panjang gelombangnya.



*Kolom mengingat*

Sifat-sifat gelombang elektromagnetik antara lain:

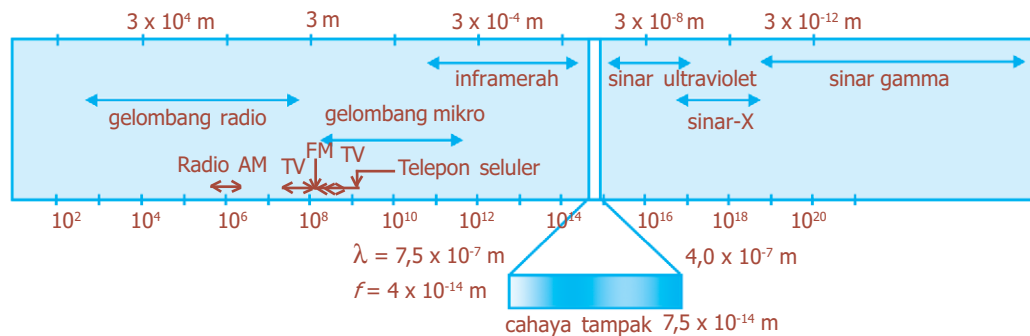
1. dapat merambat dalam ruang hampa,
2. dapat dipantulkan dan dibiaskan,
3. dapat mengalami polarisasi,
4. dapat mengalami interferensi,
5. dapat mengalami difraksi, dan
6. merambat lurus.



Sumber: Dokumen Penerbit, 2006

**Gambar 8.4** Gelombang radio merupakan gelombang elektromagnetik.

Mata kita mendeteksi panjang gelombang antara  $4 \times 10^{-7} \text{ m}$  sampai  $7 \times 10^{-7} \text{ m}$  (cahaya tampak), sedangkan kulit kita mendeteksi panjang gelombang yang lebih besar. Banyak gelombang elektromagnetik yang tidak dapat kita deteksi secara langsung.



**Gambar 8.5** Spektrum gelombang elektromagnetik.

## 1. Gelombang Radio

Gelombang radio terdiri atas osilasi (getaran) cepat pada medan elektrik dan magnetik. Berdasarkan lebar frekuensinya, gelombang radio dibedakan menjadi *Low Frequency* (LF), *Medium Frequency* (MF), *High Frequency* (HF), *Very High Frequency* (VHF), *Ultra High Frequency* (UHF), dan *Super High Frequency* (SHF). Perhatikan Tabel 8.1 berikut ini.

**Tabel 8.1** Klasifikasi gelombang radio

Lebar Frekuensi	Panjang Gelombang Tertentu	Beberapa Penggunaan
Low (LF) 30 kHz - 300 kHz	Low wave 1.500 m	Radio gelombang panjang dan komunikasi melalui jarak jauh.
Medium (MF) 300 kHz – 3 MHz	Medium wave 300 m	Gelombang medium lokal dan radio jarak jauh.
High (HF) 3 MHz – 30 MHz	Short wave 30 m	Radio gelombang pendek dan komunikasi, radio amatir, dan CB.
Very High (VHF) 30 MHz – 300 MHz	Very short wave 3 m	Radio FM, polisi, dan pelayanan darurat.
Ultra High (UHF) 300 MHz – 3 GHz	Ultra short wave 30 cm	Televisi
Super High (SHF) di atas 3 GHz	Microwaves 3 cm	Radar, komunikasi satelit, telepon, dan saluran televisi.



Gelombang radio MF dan HF dapat mencapai tempat yang jauh di permukaan bumi karena gelombang ini dapat dipantulkan oleh lapisan ionosfer. Gelombang LF diserap oleh ionosfer, sedang gelombang VHF dan UHF menembus ionosfer, sehingga dapat digunakan untuk komunikasi dengan satelit.

## 2. Gelombang Mikro

Gelombang mikro merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang dalam selang antara  $10^{-3}$  dan 0,03 m. Gelombang mikro dihasilkan oleh peralatan elektronik khusus, misalnya dalam tabung Klystron. Gelombang ini dimanfaatkan dalam alat *microwave*, sistem komunikasi radar, dan analisis struktur molekul dan atomik.

## 3. Sinar Inframerah

Radiasi inframerah merupakan radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang lebih panjang daripada panjang gelombang cahaya merah, namun lebih pendek daripada panjang gelombang radio. Dengan kata lain radiasi pada selang panjang gelombang 0,7  $\mu\text{m}$  hingga 1 mm. Sinar inframerah dapat dimanfaatkan dalam fotografi inframerah untuk keperluan pemetaan sumber alam dan diagnosis penyakit.

## 4. Cahaya Tampak

Cahaya tampak merupakan radiasi gelombang elektromagnetik yang dapat dideteksi oleh mata manusia. Cahaya tampak memiliki kisaran panjang gelombang antara  $4 \times 10^{-7}$  m hingga  $7 \times 10^{-7}$  m.

## 5. Sinar Ultraviolet ( $10^{15}$ Hz - $10^{16}$ Hz)

Gelombang ultraviolet mempunyai panjang gelombang yang pendek. Matahari merupakan pemancar radiasi ultraviolet yang kuat, dan membawa lebih banyak energi daripada gelombang cahaya yang lain. Karena inilah gelombang ultraviolet itu dapat masuk dan membakar kulit. Kulit manusia sensitif terhadap sinar ultraviolet matahari. Meskipun begitu, atmosfer bumi dapat menghambat sebagian sinar ultraviolet yang merugikan itu. Terbakar sinar matahari juga merupakan risiko yang dapat menimbulkan kanker kulit.

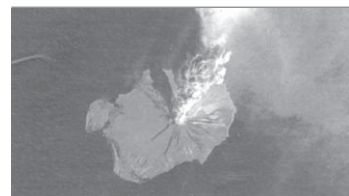


Sumber: *Jendela Iptek Cahaya*,  
PT Balai Pustaka, 2000

**Gambar 8.6** Gelombang radio berkisar 1 milimeter sampai beberapa kilometer.



Pancaran tingkat rendah mikro gelombang menembus seluruh ruang angkasa. Pada oven *microwave* mempunyai panjang gelombang tipikal 0,001 - 0,1 meter.



Sumber: *Jendela Iptek Cahaya*,  
PT Balai Pustaka, 2000

**Gambar 8.7** Pada gunung berapi yang meletus gelombang inframerah yang tidak kasat mata yang berasal dari lava cair telah diproses oleh komputer sehingga menjadi warna merah yang kasat mata.



Sumber: *Jendela Iptek Cahaya*,  
PT Balai Pustaka, 2000

**Gambar 8.8** Sinar-X dapat dideteksi oleh film fotografik dan dapat menembus tubuh.

## 6. Sinar-X ( $10^{16}$ - $10^{20}$ Hz)

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik yang dihasilkan dari penembakan atom-atom dengan partikel-partikel yang memiliki energi kuantum tinggi. Panjang gelombang sinar-X berkisar antara  $10^{-11}$  m hingga  $10^{-9}$  m. Sinar-X dihasilkan oleh elektron-elektron yang berada di bagian dalam kulit elektron atom, atau pancaran yang terjadi karena elektron dengan kelajuan besar menumbuk logam. Sinar-X dapat melintas melalui banyak materi sehingga digunakan dalam bidang medis dan industri untuk menelaah struktur bagian dalam. Sinar-X dapat dideteksi oleh film fotografik, karena itu digunakan untuk menghasilkan gambar benda yang biasanya tidak dapat dilihat, misalnya patah tulang.

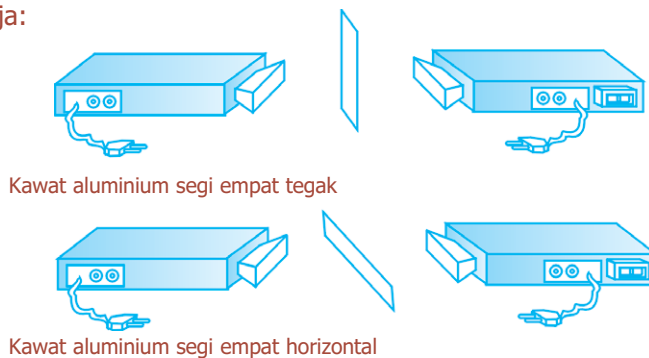
## 7. Sinar Gamma ( $10^{20}$ - $10^{25}$ Hz)

Sinar atau gelombang gamma, yang merupakan bentuk radioaktif yang dikeluarkan oleh inti-inti atom tertentu, mempunyai panjang gelombang yang sangat pendek. Sinar ini membawa energi dalam jumlah besar dan dapat menembus logam dan beton. Sinar ini sangat berbahaya dan dapat membunuh sel hidup, terutama sinar gamma tingkat tinggi yang dilepaskan oleh reaksi nuklir, seperti ledakan bom nuklir.

### Kegiatan

Tujuan : Membuktikan bahwa gelombang elektromagnetik adalah gelombang transversal.  
Alat dan bahan : Pemancar gelombang 3 cm, penerima gelombang 3 cm, kawat aluminium bentuk segi empat dengan lebar 1 cm, ram aluminium kawat sejajar, lempeng aluminium dan lempeng besi.

#### Cara Kerja:



1. Hubungkan pemancar gelombang elektromagnetik 3 cm dengan kontak listrik (*on*).

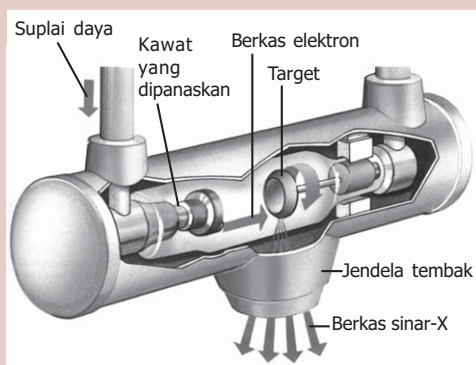


2. Letakkan penerima gelombang elektromagnetik 3 cm yang telah dihubungkan dengan kontak listrik lurus dengan pemancar.
3. Amati sinyal gelombang pada pesawat penerima, sampai terlihat adanya sinyal.
4. Letakkan bentuk empat persegi panjang kawat aluminium di antara kedua pesawat itu kondisi tegak (vertikal), dan amati sinyal pada pesawat penerima.
5. Letakkan empat persegi panjang kawat aluminium di antara kedua pesawat itu kondisi mendatar (horizontal), dan amati sinyal pada pesawat penerima.
6. Apa yang dapat dilihat dari kondisi langkah 4 dan langkah 5?

#### Diskusi:

1. Apa yang disebut dengan gelombang elektromagnetik?
2. Apa yang dapat disimpulkan dari percobaan ini?

## Percikan Fisika



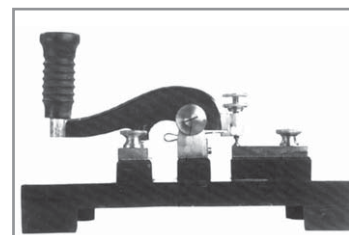
### Tabung Sinar-X

Tabung sinar-X di rumah sakit menggunakan tabung pemancar sinar-X. Kawat yang dipanaskan melepas elektron, yang akan dipercepat oleh medan listrik hingga menumbuk logam target. Tumbukan menolak elektron dari atom logam. Selanjutnya, elektron-elektron jatuh kembali ke sela rongga yang ditinggalkan oleh elektron yang terpantik keluar. Ketika ini berlangsung, elektron kehilangan energi dalam wujud sinar-X.



## Aplikasi Gelombang Elektromagnetik

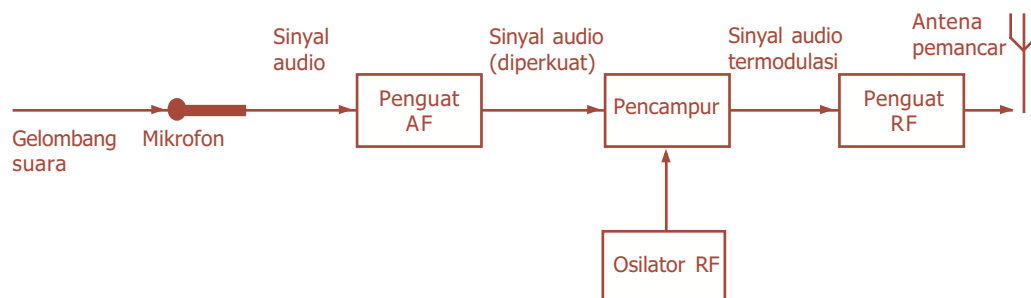
Dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik, manusia dapat melakukan pengiriman informasi jarak jauh. Guglielmo Marconi (1874 - 1937) pada tahun 1890-an menemukan dan mengembangkan telegraf tanpa kabel. Dengan alat ini, pesan dapat dikirim sejauh ratusan kilometer tanpa memerlukan kabel. Sinyal yang pertama hanya terdiri atas pulsa panjang dan pendek yang dapat diterjemahkan menjadi kata-kata melalui kode, seperti “(.)” dan “(-)” dalam kode Morse.



Sumber: *Jendela Iptek Energi*,  
PT Balai Pustaka, 2000

**Gambar 8.9** Kunci Morse buatan Samuel Morse pada tahun 1838.

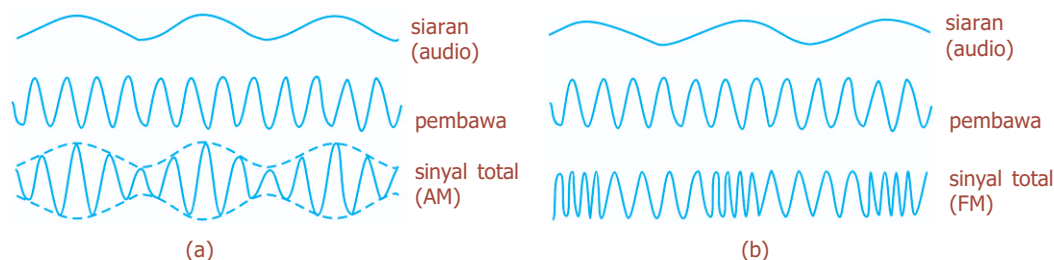
Pada dekade berikutnya dikembangkan tabung vakum, sehingga tercipta radio dan televisi. Proses pengiriman (kata-kata atau suara) oleh stasiun radio ditunjukkan pada Gambar 8.10. Informasi suara (audio) diubah menjadi sinyal listrik dengan frekuensi sama oleh mikrofon atau *head tape recorder*. Sinyal listrik ini dinamakan sinyal frekuensi audio (AF), karena frekuensi berada di dalam interval audio (20 Hz - 20.000 Hz). Sinyal ini diperkuat secara elektronis, kemudian dicampur dengan sinyal frekuensi radio (RF) yang ditentukan oleh nilai  $L$  dan  $C$  dalam rangkaian resonansi  $RLC$ , dan dipilih sedemikian rupa hingga menghasilkan frekuensi khas dari setiap stasiun, dinamakan **frekuensi pembawa (carrier)**.



**Gambar 8.10** Diagram blok pemancar radio.

Pencampuran frekuensi audio dan pembawa dilakukan dengan dua cara, yaitu **modulasi amplitudo** dan **modulasi frekuensi**. Pada modulasi amplitudo (AM), amplitudo gelombang pembawa yang frekuensinya lebih tinggi dibuat bervariasi mengikuti sinyal audio, tampak seperti pada Gambar 8.11(a). Sementara itu, modulasi frekuensi (FM), frekuensi gelombang pembawa diubah-ubah mengikuti sinyal audio, tampak seperti pada Gambar 8.11(b).

Pemancar televisi, bekerja dengan cara yang sama dengan pemancar radio dengan menggunakan modulasi frekuensi (FM), tapi yang dicampur dengan frekuensi pembawa adalah sinyal audio dan video.

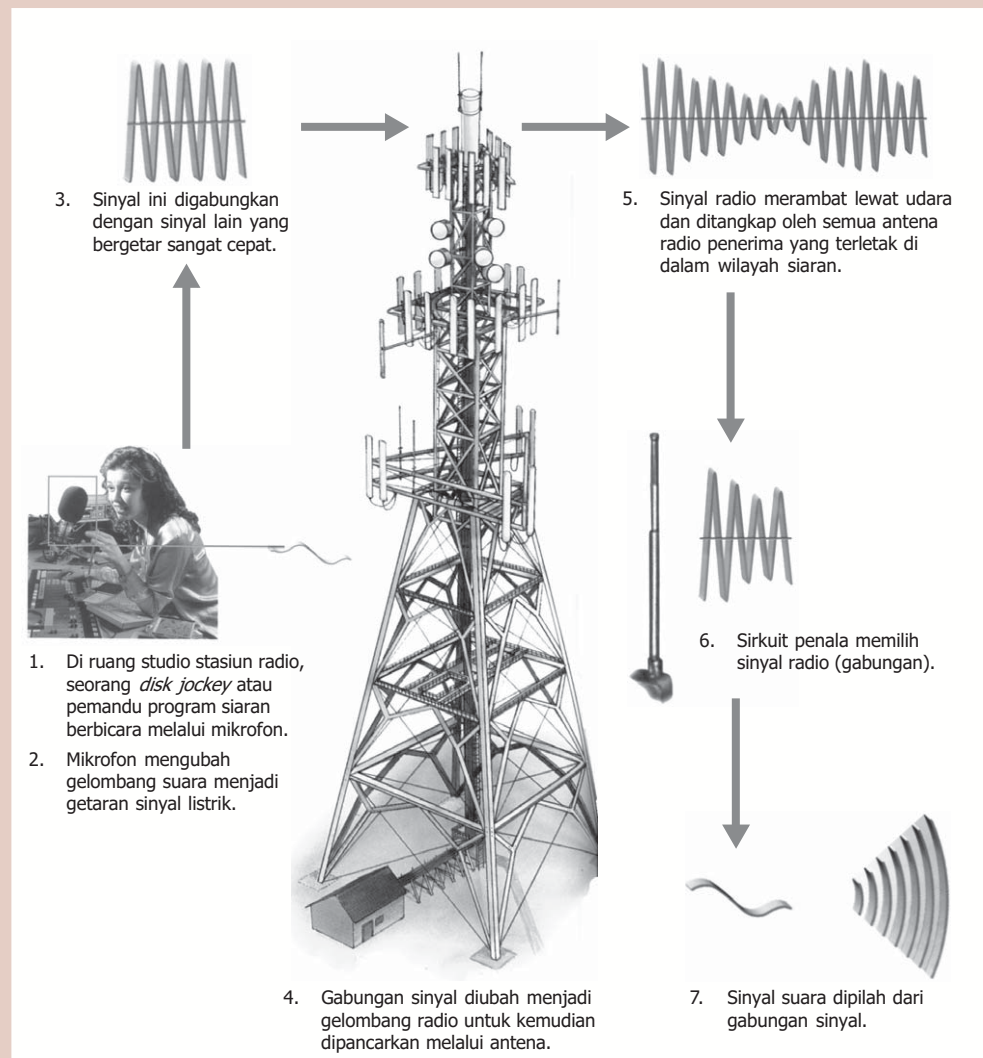


**Gambar 8.11** (a) Modulasi amplitudo (AM), (b) Modulasi frekuensi (FM).

## Percikan Fisika

### Siaran Radio

Ketika seorang penyiar radio sedang mengudara, mula-mula mikrofon menangkap getaran udara yang dibangkitkan oleh gelombang suaranya, dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Sinyal ini berupa arus bolak-balik yang getarannya bersesuaian dengan suara penyiar. Sinyal suara dikirim ke alat pemancar, di mana sinyal itu dibaurkan dengan sinyal kedua yang disebut gelombang pembawa. Gelombang pembawa bergetar sebanyak ribuan atau bahkan jutaan kali per detik. Setelah dibaurkan, terciptalah gelombang radio yang oleh antenna pemancar dapat disiarkan ke mana-mana. Pesawat radio penerima yang menala frekuensi stasiun pemancar tertentu akan mengambil gelombang siaran dan mengubahnya kembali menjadi sinyal listrik. Kemudian, penguat akan memperbesar kekuatan sinyal sehingga membuat pengeras suara melepas gelombang suara yang dapat kita dengar.



## Fiesta

Fisikawan Kita



### Heinrich Rudolf Hertz (1857 - 1894)

Pada tahun 1886 di Karlsruhe, Jerman, ahli fisika Heinrich Hertz mulai meneliti apakah pemikiran Maxwell tentang keberadaan gelombang radio itu benar. Dia menguji bunga api yang bertegangan tinggi yang melompat di antara dua buah batang dan mengamati bahwa bunga api kecil melompat menyeberangi celah antara dua batang lain yang jaraknya berjauhan. Ini menunjukkan bahwa gelombang elektromagnetik bergerak menyeberangi ruangan.

## Kilas Balik

- \* Muatan listrik dapat menghasilkan medan listrik di sekitarnya.
- \* Arus listrik atau muatan listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian dapat menghasilkan medan magnet di sekitarnya.
- \* Teori Maxwell memprediksi bahwa gelombang elektromagnetik (EM) transversal dapat dihasilkan melalui percepatan muatan listrik, dan gelombang-gelombang ini akan merambat melalui ruang dengan laju cahaya, yang ditentukan dengan persamaan:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

- \* Gelombang elektromagnetik merupakan perpaduan gelombang medan listrik dan medan magnetik yang berjalan.
- \* Panjang gelombang  $\lambda$  dan frekuensi  $f$  gelombang elektromagnetik berhubungan dengan kecepatannya  $c$ , yang dinyatakan dalam persamaan:

$$c = f \cdot \lambda$$

- \* Spektrum gelombang elektromagnetik terdiri atas gelombang-gelombang elektromagnetik dengan variasi panjang gelombang yang luas, mulai dari gelombang mikro dan gelombang radio, hingga cahaya tampak, sinar-X, dan sinar- $\gamma$ , yang semuanya merambat di ruang hampa dengan kecepatan gerak sebesar  $c = 3 \times 10^8$  m/s.

## Uji Kompetensi

### A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Yang termasuk sifat gelombang elektromagnetik adalah ... .
  - a. perambatannya memerlukan medium
  - b. dapat mengalami interferensi dan difraksi
  - c. dapat mengalami difraksi, tetapi tidak dapat dipolarisasikan
  - d. dapat mengalami polarisasi, tetapi tidak dapat berinterferensi
  - e. perambatannya memerlukan medium
2. Gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang terkecil adalah ... .
  - a. sinar-X
  - b. sinar gamma
  - c. sinar ultraviolet
  - d. sinar inframerah
  - e. gelombang radio
3. Perubahan medan listrik dapat menyebabkan timbulnya ... .
  - a. gelombang elektromagnetik
  - b. gelombang mekanik
  - c. medan magnet
  - d. medan gaya
  - e. radiasi
4. Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik, teori ini dikemukakan oleh ... .
  - a. James Clerk Maxwell
  - b. Christian Huygens
  - c. Heinrich Rudolp Hertz
  - d. Robert Hooke
  - e. Isaac Newton
5. Besarnya frekuensi cahaya sebanding dengan ... .
  - a. panjang gelombang
  - b. intensitas
  - c. laju cahaya
  - d. medan listrik
  - e. medan magnet
6. Urutan spektrum gelombang elektromagnetik dari frekuensi besar ke frekuensi kecil adalah ... .
  - a. radar, ultraviolet, dan sinar-X
  - b. sinar gamma, sinar-X, dan ultraviolet
  - c. inframerah, radar, dan cahaya tampak
  - d. cahaya tampak, ultraviolet, dan inframerah
  - e. gelombang radio, inframerah, dan ultraviolet

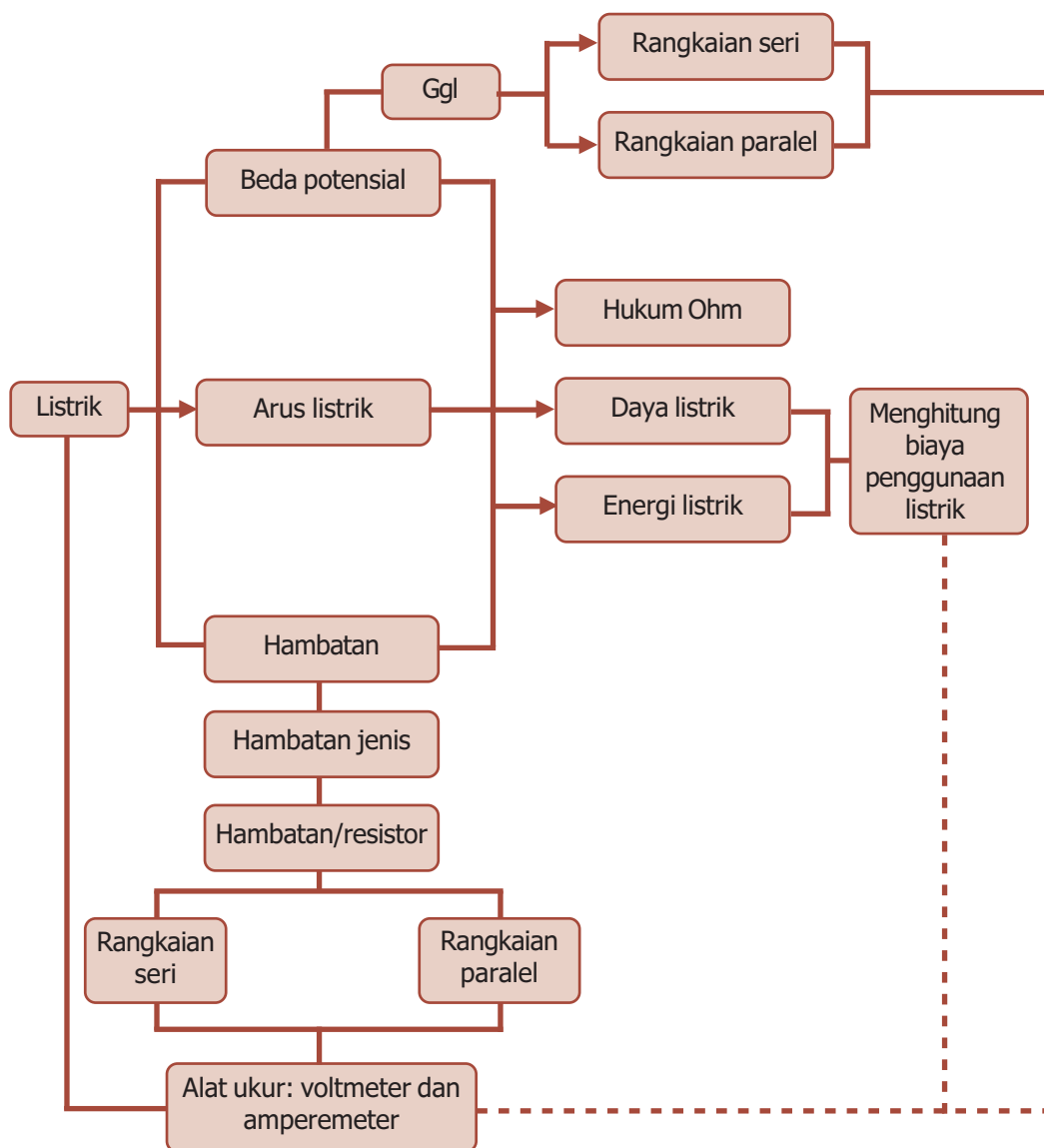
7. Gelombang radio yang dipancarkan dengan frekuensi 5 MHz, memiliki panjang gelombang sebesar ... .
  - a. 20 m
  - b. 30 m
  - c. 40 m
  - d. 50 m
  - e. 60 m
8. Medan listrik maksimum dari sebuah gelombang elektromagnetik adalah 100 N/C. Berarti intensitasnya adalah ... .
  - a. 10,0 W/m<sup>2</sup>
  - b. 11,2 W/m<sup>2</sup>
  - c. 12,1 W/m<sup>2</sup>
  - d. 13,7 W/m<sup>2</sup>
  - e. 14,6 W/m<sup>2</sup>
9. Kuat medan listrik maksimum dari suatu gelombang elektromagnetik sebesar  $6 \times 10^4$  N/C. Maka induksi magnet maksimum adalah ... .
  - a.  $4 \times 10^{-6}$  T
  - b.  $3 \times 10^{-5}$  T
  - c.  $1 \times 10^{-4}$  T
  - d.  $2 \times 10^{-4}$  T
  - e.  $3 \times 10^{-4}$  T
10. Suatu gelombang elektromagnetik dengan frekuensi 50 MHz merambat di angkasa, di mana pada berbagai titik dan waktu medan listrik maksimumnya 720 N/C. Maka panjang gelombangnya adalah ... .
  - a. 3 m
  - b. 4 m
  - c. 5 m
  - d. 6 m
  - e. 7 m

**B. Jawablah dengan singkat dan benar!**

1. Jelaskan perbedaan antara gelombang elektromagnetik dan gelombang mekanik!
2. Sebuah benda pijar yang terbuat dari baja memancarkan energi maksimum pada panjang gelombang cahaya 5.000 Å. Hitunglah suhu sumber cahaya tersebut!
3. Sebuah mesin sinar-X menghasilkan berkas sinar-X dengan panjang gelombang 1,1 nm. Tentukan frekuensi sinar-X tersebut!
4. Selang waktu yang digunakan pesawat radar untuk menangkap sinyal adalah 2 ms. Berapakah jarak antara pesawat radar dengan sasaran yang dituju oleh pesawat tersebut?
5. Energi rata-rata tiap satuan luas tiap satuan waktu dari gelombang elektromagnetik adalah 2,125 W/m<sup>2</sup>. Tentukan besarnya kuat medan listrik pada tempat tersebut!

# PETA KONSEP

## Bab 7 Listrik





- Listrik sebelum sampai ke rumah-rumah ditampung dulu di gardu listrik.

Sumber: *Dokumen Penerbit*, 2006

**L**istrik sangat berguna bagi kehidupan manusia. Bayangkanlah bagaimana jadinya jika tidak ada listrik. Dunia akan gelap pada malam hari, tidak ada komunikasi, tidak ada penerangan, tidak bisa melihat televisi, dan tidak tahu dunia luar. Coba kalian perhatikan gambar gardu listrik di atas. Kabel-kabel besar menghubungkan satu tempat dengan tempat lain dengan tegangan tinggi. Bagaimana seorang tukang listrik merangkai kabel itu agar tidak membahayakan? Dan bagaimana listrik dapat sampai ke rumah kalian? Untuk mengetahuinya ikuti uraian berikut.



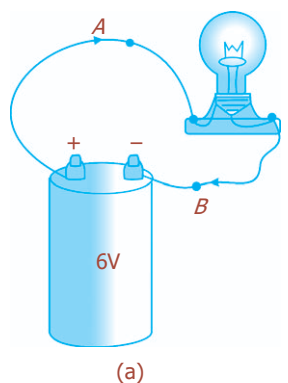
## Kata Kunci

amperemeter, arus listrik, beda potensial, hambatan, konduktor, muatan, paralel

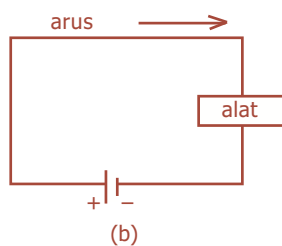
Listrik sudah ada sejak adanya jagat raya ini, bahkan saat kehidupan di planet ini belum ada. Kilatan petir yang sangat kuat dapat menerangi langit. Petir merupakan fenomena alam yang menunjukkan adanya energi listrik. Gejala listrik telah diselidiki sejak 600 SM oleh Thales, ahli filsafat dari Miletus, Yunani Kuno. Batu ambar yang digosok-gosokkan dengan kain sutra mampu menarik potongan-potongan jerami, sehingga dikatakan bahwa batu ambar bermuatan listrik.

Sejalan dengan berkembangnya kehidupan, listrik menjadi bagian yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Hampir seluruh peralatan yang digunakan manusia memanfaatkan bantuan energi listrik. Listrik pada dasarnya dibedakan menjadi dua macam, yaitu **listrik statis** (berkaitan dengan muatan listrik dalam keadaan diam) dan **listrik dinamis** (berkaitan dengan muatan listrik dalam keadaan bergerak). Pada saat sakelar pada suatu rangkaian listrik ditutup, lampu akan menyala, dan sebaliknya saat sakelar dibuka lampu mati. Mengapa demikian?

### A. Arus Listrik




(a)



(b)

**Gambar 7.1** (a) Rangkaian listrik sederhana, (b) skema rangkaian listrik.

Arus listrik didefinisikan sebagai aliran muatan listrik melalui sebuah konduktor. Arus ini bergerak dari potensial tinggi ke potensial rendah, dari kutub positif ke kutub negatif, dari anoda ke katoda. Arah arus listrik ini berlawanan arah dengan arus elektron. Muatan listrik dapat berpindah apabila terjadi beda potensial. Beda potensial dihasilkan oleh sumber listrik, misalnya baterai atau akumulator. Setiap sumber listrik selalu mempunyai dua kutub, yaitu kutub positif (+) dan kutub negatif (-).

Apabila kutub-kutub baterai dihubungkan dengan jalur penghantar yang kontinu, kita dapatkan rangkaian listrik tampak seperti pada Gambar 7.1(a), diagram rangkaianannya tampak seperti pada Gambar 7.1(b). Dalam hal ini, baterai (sumber beda potensial) digambarkan dengan simbol: .

Garis yang lebih panjang menyatakan kutub positif, sedangkan yang pendek menyatakan kutub negatif. Alat yang diberi daya oleh baterai dapat berupa bola lampu, pemanas, radio, dan sebagainya. Ketika rangkaian ini terbentuk, muatan dapat mengalir melalui kawat pada rangkaian, dari satu kutub baterai ke kutub yang lainnya. Aliran muatan seperti ini disebut **arus listrik**.

Arus listrik yang mengalir pada kawat tersebut didefinisikan sebagai jumlah total muatan yang melewatinya per satuan waktu pada suatu titik. Maka arus listrik  $I$  dapat dirumuskan:

$$I = \frac{Q}{\Delta t} \dots\dots\dots (7.1)$$

Dengan  $Q$  adalah jumlah muatan yang melewati konduktor pada suatu titik selama selang waktu  $\Delta t$ .

Arus listrik diukur dalam coulomb per sekon dan diberi nama khusus yaitu **ampere** yang diambil dari nama fisikawan Prancis bernama Andre Marie Ampere (1775 - 1836). Satu ampere didefinisikan sebagai satu coulomb per sekon ( $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ ). Satuan-satuan terkecil yang sering digunakan adalah miliampere ( $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$ ) atau mikroampere ( $1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$ ). Alat untuk mengukur kuat arus listrik dinamakan **amperemeter** (disingkat **ammeter**).



Andre Marie Ampere (1775 - 1836), ilmuwan dari Prancis yang sangat berjasa dalam bidang listrik.

### Contoh Soal

Arus listrik sebesar 5 A mengalir melalui seutas kawat penghantar selama 1,5 menit. Hitunglah banyaknya muatan listrik yang melalui kawat tersebut!

*Penyelesaian:*

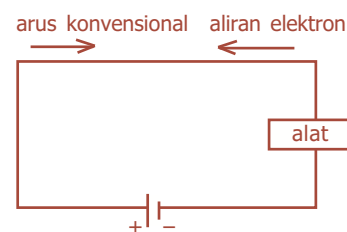
Diketahui:  $I = 5 \text{ A}$                        $t = 1,5 \text{ menit} = 90 \text{ sekon}$

Ditanya:  $Q = \dots ?$

Jawab:

$$Q = I.t = (5\text{A}) (90 \text{ s}) = 450 \text{ C}$$

Konduktor banyak mengandung elektron bebas. Berarti, bila kawat penghantar dihubungkan ke kutub-kutub baterai seperti pada Gambar 7.1, sebenarnya elektron bermuatan negatiflah yang mengalir pada kawat. Ketika kawat penghantar pertama kali dihubungkan, beda potensial antara kutub-kutub baterai mengakibatkan adanya medan listrik di dalam kawat dan paralel terhadapnya. Dengan demikian, elektron-elektron bebas pada satu ujung kawat tertarik ke kutub positif, dan pada saat yang sama elektron-elektron meninggalkan kutub negatif baterai dan memasuki kawat di ujung yang lain. Ada aliran elektron yang kontinu melalui kawat yang terjadi ketika kawat terhubung ke kedua kutub. Sesuai dengan ketentuan mengenai muatan positif dan negatif, dianggap muatan positif mengalir pada satu arah yang tetap ekuivalen dengan muatan negatif yang mengalir ke arah yang berlawanan, tampak seperti pada Gambar 7.2. Ketika membicarakan arus yang mengalir pada rangkaian, yang dimaksud adalah arah aliran muatan positif. Arah arus yang identik dengan arah muatan positif ini yang disebut **arus konvensional**.



**Gambar 7.2** Arah arus konvensional.

### Uji Kemampuan 7.1

Sebuah elektron bermuatan  $1,6 \times 10^{-19}$  C. Berapa banyak elektron yang mengalir pada kawat penghantar selama 2 sekon jika kuat arus yang mengalir 2 A?



## B. Hambatan Listrik dan Beda Potensial

Dalam arus listrik terdapat hambatan listrik yang menentukan besar kecilnya arus listrik. Semakin besar hambatan listrik, semakin kecil kuat arusnya, dan sebaliknya. **George Simon Ohm** (1787-1854), melalui eksperimennya menyimpulkan bahwa arus  $I$  pada kawat penghantar sebanding dengan beda potensial  $V$  yang diberikan ke ujung-ujung kawat penghantar tersebut:  $I \propto V$ .

Misalnya, jika kita menghubungkan kawat penghantar ke kutub-kutub baterai 6 V, maka aliran arus akan menjadi dua kali lipat dibandingkan jika dihubungkan ke baterai 3 V.

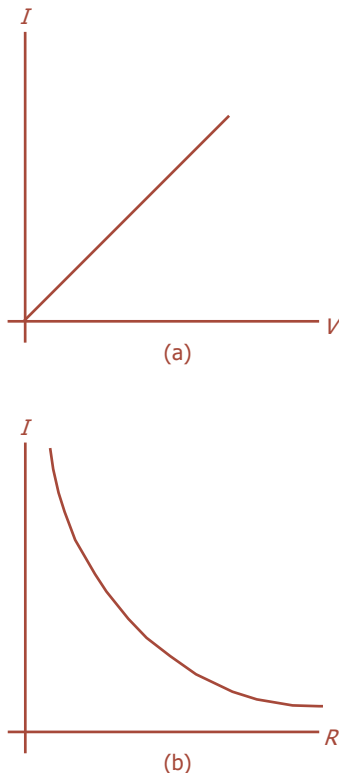
Besarnya arus yang mengalir pada kawat penghantar tidak hanya bergantung pada tegangan, tetapi juga pada hambatan yang dimiliki kawat terhadap aliran elektron. Kuat arus listrik berbanding terbalik dengan hambatan:  $I \propto \frac{1}{R}$ . Aliran elektron pada kawat penghantar diperlambat karena adanya interaksi dengan atom-atom kawat. Makin besar hambatan ini, makin kecil arus untuk suatu tegangan  $V$ . Dengan demikian, arus  $I$  yang mengalir berbanding lurus dengan beda potensial antara ujung-ujung penghantar dan berbanding terbalik dengan hambatannya. Pernyataan ini dikenal dengan **Hukum Ohm**, dan dinyatakan dengan persamaan:

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots (7.2)$$

Dengan  $R$  adalah hambatan kawat atau suatu alat lainnya,  $V$  adalah beda potensial antara kedua ujung penghantar, dan  $I$  adalah arus yang mengalir. Hubungan ini (persamaan (7.2)) sering dituliskan:

$$V = I \cdot R \dots\dots\dots (7.3)$$

Dalam satuan SI, hambatan dinyatakan dalam satuan volt per ampere (V/A) atau ohm ( $\Omega$ ). Grafik hubungan antara arus  $I$  dan beda potensial  $V$ , serta kuat arus  $I$  dan hambatan listrik  $R$ , ditunjukkan seperti pada Gambar 7.3.



**Gambar 7.3** Grafik hubungan (a) kuat arus dengan beda potensial; (b) kuat arus dengan hambatan.

### Contoh Soal

Sebuah pemanas listrik memiliki beda potensial 20 V dan kuat arus listrik 4 A. Berapakah hambatan pemanas tersebut?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $V = 20 \text{ V}$

$I = 4 \text{ A}$

Ditanya:  $R = \dots ?$

Jawab:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{20}{4} = 5 \, \Omega$$

### Uji Kemampuan 7.2

Apabila tegangan listrik pada suatu penghantar 20 volt, maka arus yang mengalir  $\frac{3}{4}$  ampere. Jika tegangan dinaikkan menjadi 42 volt, tentukan kuat arusnya!



### C. Hambatan Jenis

Kita mungkin menduga bahwa hambatan yang dimiliki kawat yang tebal lebih kecil daripada kawat yang tipis, karena kawat yang lebih tebal memiliki area yang lebih luas untuk aliran elektron. Kita tentunya juga memperkirakan bahwa semakin panjang suatu penghantar, maka hambatannya juga semakin besar, karena akan ada lebih banyak penghalang untuk aliran elektron.

Berdasarkan eksperimen, Ohm juga merumuskan bahwa hambatan  $R$  kawat logam berbanding lurus dengan panjang  $l$ , berbanding terbalik dengan luas penampang lintang kawat  $A$ , dan bergantung kepada jenis bahan tersebut. Secara matematis dituliskan:

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots (7.4)$$

dengan:

$R$  = hambatan kawat penghantar ( $\Omega$ )

$l$  = panjang kawat penghantar (m)

$A$  = luas penampang lintang penghantar ( $\text{m}^2$ )

$\rho$  = hambatan jenis kawat penghantar ( $\Omega \cdot \text{m}$ )

Konstanta pembanding  $\rho$  disebut **hambatan jenis** (**resistivitas**). Hambatan jenis kawat berbeda-beda tergantung bahannya.

Tabel 7.1 menunjukkan hambatan jenis berbagai bahan pada suhu 20 °C.

**Tabel 7.1 Hambatan jenis berbagai bahan pada suhu 20 °C**

Bahan	Hambatan Jenis $\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )	Koefisien muai, $\alpha$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) <sup>-1</sup>
<b>Konduktor</b>		
Perak	$1,59 \times 10^{-8}$	0,0061
Tembaga	$1,68 \times 10^{-8}$	0,0068
Emas	$2,44 \times 10^{-8}$	0,0034
Aluminium	$2,65 \times 10^{-8}$	0,00429
Tungsten	$5,60 \times 10^{-8}$	0,0045
Besi	$9,71 \times 10^{-8}$	0,00651
Platina	$10,6 \times 10^{-8}$	0,003927
Air raksa	$98 \times 10^{-8}$	0,0009
Nikrom (logam campuran Ni, Fe, Cr)	$100 \times 10^{-8}$	0,0004
<b>Semikonduktor</b>		
Karbon (grafit)	$(3-60) \times 10^{-5}$	-0,0005
Germanium	$(1-500) \times 10^{-3}$	-0,05
Silikon	0,1 - 60	-0,07
<b>Isolator</b>		
Kaca	$10^9 - 10^{12}$	
Karet padatan	$10^{13} - 10^{15}$	

### Contoh Soal

Berapakah hambatan seutas kawat aluminium (hambatan jenis  $2,65 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ) yang memiliki panjang 40 m dan diameter 4,2 mm?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $\rho = 2,65 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

$l = 40 \text{ m}$

$d = 4,2 \text{ mm} \rightarrow r = 2,1 \text{ mm} = 2,1 \times 10^{-3} \text{ m}$

Ditanya:  $R = \dots ?$

Jawab:

$$R = \rho \frac{l}{A} = 2,65 \times 10^{-8} \left( \frac{40}{\frac{22}{7} (2,1 \times 10^{-3})^2} \right) = 7,6 \times 10^{-2} \Omega$$

### Uji Kemampuan 7.3

Seutas kawat nikrom yang panjangnya 3 meter memiliki hambatan 20 ohm.

Kawat nikrom kedua diameternya  $\frac{1}{2}$  kali diameter kawat pertama. Berapakah hambatan kawat yang kedua?



## D. Daya dan Energi Listrik

Energi listrik berguna untuk kita karena dapat diubah menjadi bentuk energi lain. Pada alat-alat listrik seperti pemanas listrik, kompor listrik, dan pengering rambut, energi listrik diubah menjadi energi panas pada hambatan kawat yang dikenal dengan nama “elemen pemanas”. Kemudian, pada banyak lampu (Gambar 7.4), filamen kawat yang kecil menjadi sedemikian panas sehingga bersinar. Hanya beberapa persen energi listrik yang diubah menjadi cahaya tampak, dan sisanya lebih dari 90% menjadi energi panas.

Energi listrik dapat diubah menjadi energi panas atau cahaya pada alat-alat listrik tersebut, karena arus biasanya agak besar, dan terjadi banyak tumbukan antara elektron dan atom pada kawat. Pada setiap tumbukan, terjadi transfer energi dari elektron ke atom yang ditumbuknya, sehingga energi kinetik atom bertambah dan menyebabkan suhu elemen kawat semakin tinggi.

Daya yang diubah oleh peralatan listrik merupakan energi yang diubah bila muatan  $Q$  bergerak melintasi beda potensial sebesar  $V$ . Daya listrik merupakan kecepatan perubahan energi tiap satuan waktu, dirumuskan:

$$P = \text{daya} = \frac{\text{energi yang diubah}}{\text{waktu}} = \frac{QV}{t}$$

Muatan yang mengalir tiap satuan waktu  $Q/t$  merupakan arus listrik,  $I$ , sehingga didapatkan:

$$P = I \cdot V \dots\dots\dots (7.5)$$

Persamaan (7.5) menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan dapat diubah oleh suatu perangkat untuk nilai arus  $I$  yang melewatinya dan beda potensial  $V$  di antara ujung-ujung penghantar. Satuan daya listrik dalam SI adalah **watt** ( $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ ).

Daya atau laju perubahan energi pada hambatan  $R$  dapat dituliskan berdasarkan Hukum Ohm sebagai berikut:

$$P = I^2 \cdot R \dots\dots\dots (7.6)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots (7.7)$$

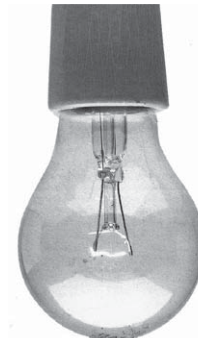
dengan:

$P$  = daya listrik (watt)

$I$  = kuat arus listrik (A)

$R$  = hambatan kawat penghantar ( $\Omega$ )

$V$  = beda potensial listrik (V)



Sumber: *Jendela Iptek Teknologi*, PT Balai Pustaka, 2000

**Gambar 7.4** Filamen kawat mengubah energi listrik menjadi cahaya.



Sumber: *Dokumen Penerbit*, 2006

**Gambar 7.5** Pada setrika, energi listrik diubah menjadi panas.



Lampu neon lebih disukai karena menghemat listrik. Dengan daya yang sama, lampu neon lebih terang daripada bohlam.

**Komet**  
Kolom mengingat

Satuan daya listrik adalah watt (W). Satuan lain:  
 $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$ ,  
 $1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$ ,  
 $1 \text{ HP (horse power)} = 746 \text{ W}$ .

Energi listrik pada suatu sumber arus listrik dengan beda potensial selama selang waktu tertentu dinyatakan oleh:

$$W = V \cdot I \cdot t \dots\dots\dots (7.8)$$

Karena  $P = I \cdot V$ , maka:  $W = P \cdot t$

$$P = \frac{W}{t} \dots\dots\dots (7.9)$$

Jadi daya listrik juga didefinisikan sebagai banyaknya energi listrik tiap satuan waktu. Satuan energi listrik adalah joule (J).

Energi listrik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari oleh pelanggan listrik diukur dengan satuan kWh (kilowatt-hour).

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

### Contoh Soal

Sebuah lampu bertuliskan 40 W/110 V dinyalakan selama 10 menit. Berapakah arus listrik dan energi listrik yang diperlukan?

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $P = 40 \text{ W}$ ,  $V = 110 \text{ V}$

Ditanya:  $I = \dots ?$   $W = \dots ?$

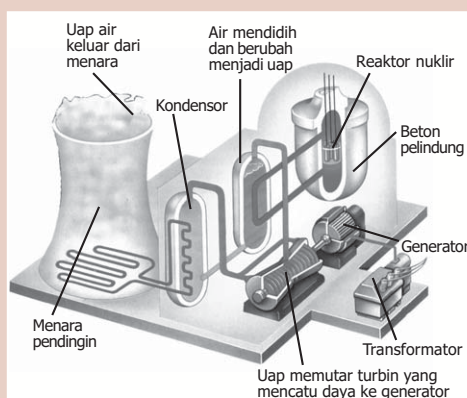
*Jawab:*  $I = \frac{P}{V} = \frac{40}{110} = 0,36 \text{ A}$

$$W = P \cdot t = 40 \text{ W} \times 600 \text{ s} = 24.000 \text{ J} = 24 \text{ kJ}$$

### Uji Kemampuan 7.4

Pada rangkaian listrik dengan hambatan 8 ohm mengalir arus 16 A selama 45 menit. Tentukan energi kalor yang digunakan dalam satuan joule, kalori, dan kWh!

## Percikan Fisika



### Satuan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

Perbedaan antara stasiun pembangkit listrik tenaga nuklir dan batu bara adalah sumber panasnya. Zat pendingin menyerap panas dari reaktor untuk dialirkan ke tungku pendidih air (*boiler*), di mana panas akan mengubah air menjadi uap. Uap menggerakkan turbin pemutar generator. Lalu uap kembali mengembun di dalam kondensor sebelum nantinya dialirkan kembali ke tungku pendidih. Air dingin dari kondensor makin kehilangan panasnya ketika dialirkan melalui menara pendingin.





## E. Arus Bolak-Balik (AC)

Apabila sebuah baterai dihubungkan pada suatu rangkaian, arus mengalir dengan tetap pada satu arah yang disebut **arus searah** atau **DC** (*direct current*). Untuk generator listrik pada pusat pembangkit tenaga listrik menghasilkan **arus bolak-balik** atau **AC** (*alternating current*). Arus listrik bolak-balik arahnya selalu berubah secara periodik terhadap waktu. Nilai arus dan tegangan bolak-balik selalu berubah-ubah menurut waktu, dan mempunyai pola grafik simetris berupa fungsi sinusoida (Gambar 7.6). Arus listrik yang dipasok ke rumah-rumah dan kantor-kantor oleh perusahaan listrik sebenarnya adalah arus listrik bolak-balik (AC).

Tegangan yang dihasilkan oleh suatu generator listrik berbentuk sinusoida, sehingga arus yang dihasilkannya juga sinusoida. Tegangan sebagai fungsi waktu dapat dinyatakan:

$$V = V_0 \sin 2\pi f t \dots\dots\dots (7.10)$$

Potensial listrik  $V$  berosilasi antara  $+V_0$  dan  $-V_0$ , di mana  $V_0$  disebut sebagai **tegangan puncak**. Frekuensi  $f$  adalah jumlah osilasi lengkap yang terjadi tiap sekon. Pada sebagian besar daerah Amerika Serikat dan Kanada, frekuensi  $f$  sebesar 60 Hz, sedangkan di beberapa negara menggunakan frekuensi 50 Hz.

Berdasarkan Hukum Ohm, jika sepanjang tegangan  $V$  ada hambatan  $R$ , maka arus  $I$  adalah:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_0 \sin 2\pi f t}{R}$$

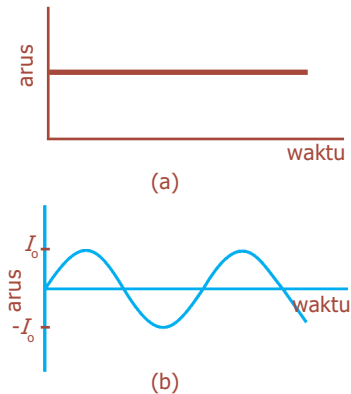
$$I = I_0 \sin 2\pi f t \dots\dots\dots (7.11)$$

Nilai  $I_0 = \frac{V_0}{R}$  adalah **arus puncak**. Arus dianggap positif ketika elektron-elektron mengalir ke satu arah dan negatif jika mengalir ke arah yang berlawanan. Besarnya daya yang diberikan pada hambatan  $R$  pada setiap saat adalah:

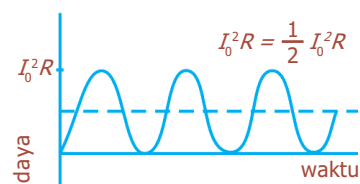
$$P = I^2 R = I_0^2 \sin^2 2\pi f t \dots\dots\dots (7.12)$$

Karena arus dikuadratkan, berarti daya selalu bernilai positif, perhatikan Gambar 7.7. Nilai  $\sin^2 2\pi f t$  bervariasi antara 0 dan 1. Daya rata-rata yang dihasilkan,  $\bar{P}$ , adalah:  $\bar{P} = \frac{1}{2} I_0^2 R$ , karena  $P = \frac{V^2}{R} = \frac{V_0^2}{R} \sin^2 2\pi f t$ , kita dapatkan juga daya rata-ratanya:

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \frac{V_0^2}{R}$$



**Gambar 7.6** Grafik hubungan arus dengan waktu pada: (a) arus searah, (b) arus bolak-balik.



**Gambar 7.7** Daya pada sebuah resistor pada rangkaian AC.



Akar kuadrat dari arus atau tegangan merupakan nilai **rms** (*root mean square* atau akar-kuadrat-rata-rata), didapatkan:

$$I_{\text{rms}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_0 \dots\dots\dots (7.13)$$

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_0}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot V_0 \dots\dots\dots (7.14)$$

Nilai  $V_{\text{rms}}$  dan  $I_{\text{rms}}$  kadang-kadang disebut “nilai efektif”. Keduanya dapat disubstitusikan langsung ke dalam rumus daya, sehingga diperoleh persamaan daya rata-rata:

$$\bar{P} = I_{\text{rms}}^2 \cdot R \dots\dots\dots (7.15)$$

$$\bar{P} = \frac{V_{\text{rms}}^2}{R} \dots\dots\dots (7.16)$$

Dari persamaan (7.15) dan (7.16), berarti daya yang sama dapat dihasilkan pada arus searah yang nilai  $I$  dan  $V$ -nya sama dengan nilai rms  $I$  dan  $V$  pada arus bolak-balik.

### Contoh Soal

Sebuah peralatan listrik memiliki daya 450 W dan tegangan AC 220 V. Hitunglah arus maksimum dan hambatannya!

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $\bar{P} = 450 \text{ W}$ ,  $V_{\text{rms}} = 220 \text{ V}$

Ditanya:  $I_{\text{rms}} = \dots ?$   $R = \dots ?$

Jawab:  $I_{\text{rms}} = \frac{\bar{P}}{V_{\text{rms}}} = \frac{450}{220} = 2,05 \text{ A}$

$$I_{\text{maks}} = I_0 = I_{\text{rms}} \sqrt{2} = 2,05 \sqrt{2} \text{ A}$$

$$R = \frac{V_0}{I_0} = \frac{V_{\text{rms}} \sqrt{2}}{I_0} = \frac{220 \sqrt{2}}{2,05 \sqrt{2}} = 107,3 \text{ } \Omega$$

### Uji Kemampuan 7.5

Setrika listrik dengan daya 400 W dan arus efektif 5 A, tentukan:

- hambatan,
- tegangan efektif!



## F. Rangkaian Seri dan Paralel Resistor

Apabila kita menggambarkan diagram untuk rangkaian, kita menyajikan baterai, kapasitor, dan resistor dengan simbol yang digambarkan pada Tabel 7.2. Kawat penghantar yang hambatannya dapat diabaikan dibandingkan hambatan lain pada rangkaian dapat digambarkan sebagai garis lurus.

**Tabel 7.2 Simbol-simbol untuk elemen rangkaian**

Simbol	Alat
	Baterai
	Kapasitor
	Resistor
	Kawat dengan hambatan terabaikan

## 1. Rangkaian Seri Resistor

Rangkaian seri juga disebut rangkaian berderet. Bila dua atau lebih resistor dihubungkan dari ujung ke ujung (Gambar 7.8), dikatakan mereka dihubungkan secara **seri**. Selain resistor, alat-alat yang dirangkai tersebut dapat berupa bohlam, elemen pemanas, atau alat penghambat lainnya. Muatan listrik yang melalui  $R_1$  juga akan melalui  $R_2$  dan  $R_3$ . Dengan demikian, arus  $I$  yang sama melewati setiap resistor. Jika  $V$  menyatakan tegangan pada ketiga resistor, maka  $V$  sama dengan tegangan sumber (baterai).  $V_1$ ,  $V_2$ , dan  $V_3$  adalah beda potensial pada masing-masing resistor  $R_1$ ,  $R_2$ , dan  $R_3$ . Berdasarkan Hukum Ohm,  $V_1 = I.R_1$ ,  $V_2 = I.R_2$ , dan  $V_3 = I.R_3$ . Karena resistor-resistor tersebut dihubungkan secara seri, kekekalan energi menyatakan bahwa tegangan total  $V$  sama dengan jumlah semua tegangan dari masing-masing resistor.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = I.R_1 + I.R_2 + I.R_3 \dots\dots\dots (7.17)$$

Hambatan total pengganti susunan seri resistor ( $R_s$ ) yang terhubung dengan sumber tegangan ( $V$ ) dirumuskan:  
 $V = I.R_s \dots\dots\dots (7.18)$

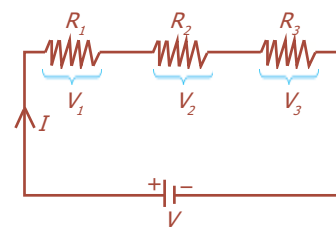
Persamaan (7.18) disubstitusikan ke persamaan (7.17) didapatkan:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 \dots\dots\dots (7.19)$$

Dari persamaan (7.19), menunjukkan bahwa besar hambatan total pengganti pada rangkaian seri sama dengan jumlah hambatan pada tiap resistor.

## 2. Rangkaian Paralel Resistor

Rangkaian paralel juga disebut rangkaian berjajar. Pada rangkaian paralel resistor, arus dari sumber terbagi menjadi cabang-cabang yang terpisah tampak seperti pada Gambar 7.9. Pemasangan alat-alat listrik pada rumah-rumah dan gedung-gedung dipasang secara paralel.

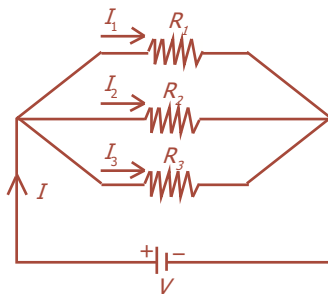


**Gambar 7.8** Rangkaian hambatan seri.

Komet

Kolom mengingat

Rangkaian seri adalah suatu penyusunan komponen-komponen di mana semua arus mengalir melewati komponen-komponen tersebut secara berurutan.



**Gambar 7.9** Rangkaian hambatan paralel.

Jika kita memutuskan hubungan dengan satu alat (misalnya  $R_1$  pada Gambar 7.9), maka arus yang mengalir pada komponen lain yaitu  $R_2$  dan  $R_3$  tidak terputus. Tetapi pada rangkaian seri, jika salah satu komponen terputus arusnya, maka arus ke komponen yang lain juga berhenti.

Pada rangkaian paralel (Gambar 7.9), arus total yang berasal dari sumber (baterai) terbagi menjadi tiga cabang. Arus yang keluar dimisalkan  $I_1$ ,  $I_2$ , dan  $I_3$  berturut-turut sebagai arus yang melalui resistor  $R_1$ ,  $R_2$ , dan  $R_3$ . Oleh karena muatan kekal, arus yang masuk ke dalam titik cabang harus sama dengan arus yang keluar dari titik cabang, sehingga diperoleh:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (7.20)$$

Ketika rangkaian paralel tersebut terhubung dengan sumber tegangan  $V$ , masing-masing mengalami tegangan yang sama yaitu  $V$ . Berarti tegangan penuh baterai diberikan ke setiap resistor, sehingga:

$$I_1 = \frac{V}{R_1}, I_2 = \frac{V}{R_2}, \text{ dan } I_3 = \frac{V}{R_3} \quad (7.21)$$

Hambatan pengganti susunan paralel ( $R_p$ ) akan menarik arus ( $I$ ) dari sumber yang besarnya sama dengan arus total ketiga hambatan paralel tersebut. Arus yang mengalir pada hambatan pengganti harus memenuhi:

$$I = \frac{V}{R_p} \quad (7.22)$$

Substitusi persamaan (7.21) dan (7.22) ke dalam persamaan (7.20) akan diperoleh:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{V}{R_p} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

Jika kita bagi setiap ruas dengan  $V$ , didapatkan nilai hambatan pengganti ( $R_p$ ) rangkaian paralel:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (7.23)$$

### Contoh Soal

Tiga buah hambatan masing-masing sebesar 4 ohm, 3 ohm, dan 8 ohm, dirangkai secara paralel. Jika kuat arus yang mengalir 4 ampere, hitunglah beda potensialnya!

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $R_1 = 4 \, \Omega$

$R_3 = 8 \, \Omega$

$R_2 = 3 \, \Omega$

$I = 4 \, \text{A}$

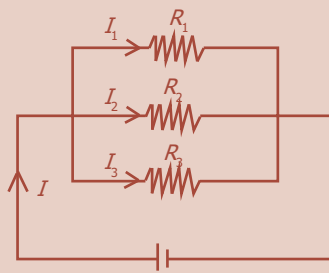
Ditanya:  $V = \dots ?$

Jawab:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{4} + \frac{1}{3} + \frac{1}{8} = \frac{6+8+3}{24} = \frac{17}{24} \rightarrow R_p = \frac{24}{17} = 1,4 \, \Omega$$

$$V = I \cdot R_p = 4 \, \text{A} \times 1,4 \, \Omega = 5,6 \, \text{V}$$

### Uji Kemampuan 7.6



Dari gambar di samping diketahui:

$$I = 8 \, \text{A}$$

$$R_1 = 5 \, \Omega$$

$$R_2 = 7 \, \Omega$$

$$R_3 = 3 \, \Omega$$

Tentukan kuat arus yang mengalir pada masing-masing resistor!



## G. Ggl dan Rangkaian Ggl

### 1. Pengertian Ggl

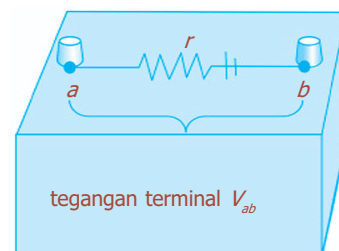
Komponen seperti baterai atau generator listrik yang mengubah energi tertentu menjadi energi listrik disebut **sumber gaya gerak listrik** atau **ggl**. Sebenarnya istilah “gaya gerak listrik” tidak tepat karena tidak mewakili “gaya” seperti yang diukur dalam satuan newton. Dengan demikian untuk menghindari kebingungan, kita lebih memilih menggunakan singkatannya ggl. Beda potensial antara kedua kutub sumber, apabila tidak ada arus yang mengalir ke rangkaian luar disebut ggl dari sumber. Simbol  $\mathcal{E}$  biasanya digunakan untuk ggl (jangan kacaukan dengan  $E$  untuk medan listrik).

Sebuah baterai secara riil dimodelkan sebagai ggl  $\mathcal{E}$  yang sempurna dan terangkai seri dengan resistor  $r$  yang disebut **hambatan dalam** baterai, tampak seperti pada Gambar 7.11. Oleh karena  $r$  ini berada di dalam baterai, kita tidak akan pernah bisa memisahkannya dari baterai. Kedua titik a dan b menunjukkan dua kutub baterai, kemudian yang akan kita ukur adalah tegangan di antara kedua kutub tersebut. Ketika tidak ada arus yang ditarik dari baterai, tegangan kutub sama dengan ggl, yang ditentukan oleh reaksi kimia pada baterai:  $V_{ab} = \mathcal{E}$ . Jika arus  $I$  mengalir dari baterai, ada penurunan tegangan di dalam baterai yang nilainya sama dengan  $I \cdot r$ .



Sumber: *Jendela Iptek Listrik*, PT Balai Pustaka, 2000

**Gambar 7.10** Generator listrik Cockcroft Walton di Laboratorium Brookhaven di Long Island New York Amerika Serikat.



**Gambar 7.11** Diagram sel listrik atau baterai.

Dengan demikian, tegangan kutub baterai (tegangan yang sebenarnya diberikan) dirumuskan:

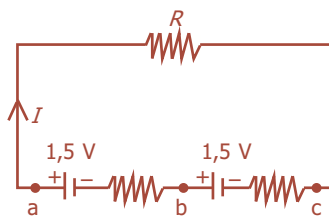
$$V_{ab} = \mathcal{E} - I r \dots\dots\dots (7.24)$$

dengan:

- $V_{ab}$  = tegangan di antara kutub baterai (V)
- $\mathcal{E}$  = ggl baterai (V)
- $I$  = arus yang mengalir (A)
- $r$  = hambatan dalam baterai ( $\Omega$ )

## 2. Rangkaian Ggl Seri dan Paralel

### a. Rangkaian Ggl Seri



**Gambar 7.12** Rangkaian seri ggl.

Apabila dua atau lebih sumber ggl (misalnya baterai) disusun seri, ternyata tegangan total merupakan jumlah aljabar dari tegangan masing-masing sumber ggl. Contohnya, jika dua buah baterai masing-masing 1,5 V dihubungkan seri, maka tegangan  $V_{ac}$  adalah 3,0 V. Untuk lebih tepatnya, kita juga harus memperhitungkan hambatan dalam baterai.

Apabila terdapat  $n$  buah sumber tegangan (ggl) dirangkai secara seri, maka sumber tegangan pengganti akan memiliki ggl sebesar:

$$\mathcal{E}_s = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_n \dots\dots\dots (7.25)$$

Sementara itu, hambatan dalam penggantinya adalah:

$$r_s = r_1 + r_2 + \dots + r_n \dots\dots\dots (7.26)$$

Untuk  $n$  buah sumber tegangan sejenis yang memiliki ggl  $\mathcal{E}$  dan hambatan dalam  $r$ , bila dirangkai secara seri akan memiliki ggl pengganti dan hambatan dalam pengganti seri masing-masing:

$$\mathcal{E}_s = n \cdot \mathcal{E} \dots\dots\dots (7.27)$$

$$r_s = n \cdot r \dots\dots\dots (7.28)$$

Dengan demikian, nilai kuat arus yang mengalir melewati hambatan (resistor  $R$ ) adalah:

$$I = \frac{\mathcal{E}_s}{R + r_s} = \frac{n\mathcal{E}}{R + nr} \dots\dots\dots (7.29)$$

dengan:

- $I$  = arus yang mengalir (A)
- $\mathcal{E}_s$  = ggl pengganti seri dari sumber yang sejenis (V)
- $R$  = hambatan resistor ( $\Omega$ )
- $r_s$  = hambatan dalam pengganti seri ( $\Omega$ )
- $n$  = jumlah sumber ggl yang sejenis
- $\mathcal{E}$  = ggl sumber/baterai (V)
- $r$  = hambatan dalam baterai ( $\Omega$ )

## b. Rangkaian Ggl Paralel

Apabila dua atau lebih sumber ggl (misalnya baterai) disusun paralel, ternyata membangkitkan arus yang lebih besar, perhatikan Gambar 7.13.

Apabila terdapat  $n$  buah sumber tegangan (ggl) dirangkai secara paralel, maka sumber tegangan pengganti akan memiliki ggl total  $V$  sebesar:

$$V = V_1 = V_2 = V_{n-1} = \dots = V_n \dots \dots \dots (7.30)$$

Sementara itu, hambatan dalam penggantinya adalah:

$$\frac{1}{r_p} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n} \dots \dots \dots (7.31)$$

Untuk  $n$  buah sumber tegangan sejenis yang memiliki ggl  $\epsilon$  dan hambatan dalam  $r$ , bila dirangkai secara paralel akan memiliki ggl pengganti dan hambatan dalam pengganti paralel masing-masing:

$$\epsilon_p = \epsilon \dots \dots \dots (7.32)$$

$$r_p = \frac{r}{n} \dots \dots \dots (7.33)$$

Dengan demikian, nilai kuat arus yang mengalir melewati hambatan (resistor  $R$ ) adalah:

$$I = \frac{\epsilon_p}{R + r_p} = \frac{\epsilon}{R + \frac{r}{n}} \dots \dots \dots (7.34)$$

dengan:

$I$  = arus yang mengalir (A)

$\epsilon_p$  = ggl pengganti paralel dari sumber yang sejenis (V)

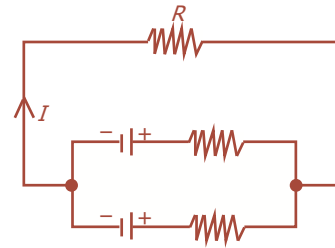
$R$  = hambatan resistor ( $\Omega$ )

$r_p$  = hambatan dalam pengganti paralel ( $\Omega$ )

$n$  = jumlah sumber ggl yang sejenis

$\epsilon$  = ggl sumber/baterai (V)

$r$  = hambatan dalam baterai ( $\Omega$ )



**Gambar 7.13** Rangkaian paralel ggl.

### Contoh Soal

Empat buah resistor masing-masing dengan hambatan  $2\Omega$ ,  $3\Omega$ ,  $4\Omega$ , dan  $5\Omega$  disusun seri. Rangkaian tersebut dihubungkan dengan ggl 18 V dan hambatan dalam 1,5 ohm. Hitunglah kuat arusnya!

*Penyelesaian:*

$$\text{Diketahui: } R_1 = 2\Omega \quad R_3 = 4\Omega \quad \epsilon = 18\text{ V} \\ R_2 = 3\Omega \quad R_4 = 5\Omega \quad r = 1,5\Omega$$

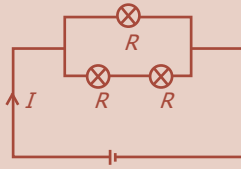
Ditanya:  $I = \dots ?$

Jawab:

$$R_s = (2 + 3 + 4 + 5)\Omega = 14\Omega$$

$$I = \frac{\epsilon}{R_s + r} = \frac{18}{14 + 1,5} = 1,2\text{ A}$$

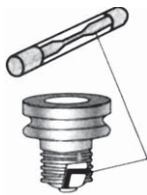
### Uji Kemampuan 7.7



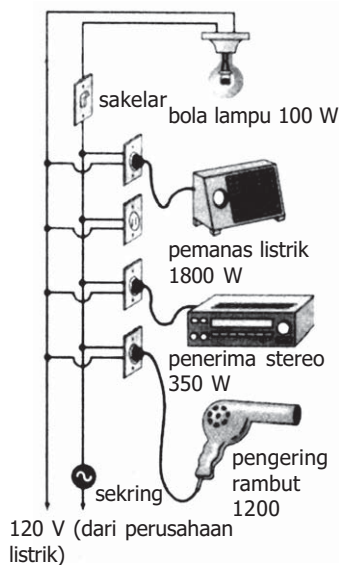
Tiga buah lampu dengan daya 20 W dan beda potensial 15 V dirangkai seperti gambar di samping. Jika kuat arus yang mengalir 5 A dan hambatan dalam 1 ohm, berapakah kuat arus yang mengalir pada rangkaian tersebut?



## H. Daya pada Rangkaian Listrik Rumah Tangga



**Gambar 7.14** Sekring sebagai pengaman listrik.



**Gambar 7.15** Rangkaian paralel peralatan listrik rumah tangga.

Kawat dalam bentuk kabel listrik yang mengalirkan arus listrik ke komponen atau peralatan listrik memiliki hambatan, meskipun biasanya relatif sangat kecil. Akan tetapi, jika arus cukup besar maka kawat akan menjadi panas dan menghasilkan energi panas dengan kecepatan yang sama dengan  $I^2 R$ , di mana  $R$  adalah hambatan kawat. Risiko yang mungkin terjadi adalah kawat pembawa arus menjadi sedemikian panas sehingga menyebabkan terjadinya kebakaran. Kawat penghantar yang lebih tebal tentu memiliki hambatan yang lebih kecil, sehingga membawa arus yang lebih besar tanpa menjadi terlalu panas. Apabila kawat penghantar membawa arus yang melebihi batas keamanan dikatakan terjadi “kelebihan beban”.

Untuk mencegah kelebihan beban, biasanya dipasang sekring (sakelar pemutus arus) pada rangkaian. Sekring (Gambar 7.14), sebenarnya merupakan sakelar pemutus arus yang membuka rangkaian ketika arus melampaui suatu nilai tertentu. Misalnya, sekring atau sakelar pemutus 20 A, akan membuka rangkaian ketika arus yang melewatinya melampaui 20 A. Hubungan pendek terjadi apabila dua kawat bersilangan sehingga jalur arus keduanya terhubung. Hal ini menyebabkan hambatan pada rangkaian sangat kecil, sehingga arus akan sangat besar.

Rangkaian listrik rumah tangga dirancang dengan berbagai peralatan yang terhubung sehingga masing-masing menerima tegangan standar dari perusahaan listrik. Gambar 7.15 menunjukkan peralatan listrik dalam rumah tangga yang dirangkai secara paralel. Bila sebuah sekring terputus atau sakelar pemutus terbuka, arus yang mengalir pada rangkaian tersebut harus diperiksa.

### Uji Kemampuan 7.8

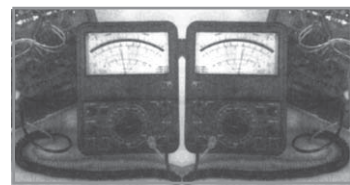
Sebuah rumah tangga dengan beda potensial 220 V setiap harinya menyalakan 4 lampu 40 W selama 10 jam, televisi 80 W selama 4 jam, kulkas 60 W, dan kipas angin 60 W selama 2 jam. Hitunglah biaya listrik yang harus dikeluarkan setiap bulannya (30 hari)!



## I. Amperemeter dan Voltmeter DC

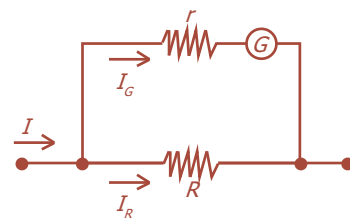
**Amperemeter** adalah alat untuk mengukur kuat arus listrik, dan **voltmeter** untuk mengukur beda potensial atau tegangan. Bagian terpenting amperemeter atau voltmeter adalah **galvanometer**, yang berupa jarum penunjuk pada suatu skala tertentu. Gambar 7.16 menunjukkan sebuah galvanometer yang bekerja dengan prinsip gaya antara medan magnet dan kumparan pembawa arus. Penyimpangan jarum galvanometer sebanding dengan arus yang melewatinya. *Sensitivitas arus skala-penuh*,  $I_m$ , dari sebuah galvanometer merupakan arus yang dibutuhkan agar jarum menyimpang dengan skala penuh. Bila sensitivitas  $I_m$  adalah 50 mA, maka untuk arus 50 mA akan menyebabkan jarum bergerak ke ujung skala, sedangkan arus 25 mA akan menyebabkan jarum menyimpang setengah skala penuh. Jika tidak ada arus, jarum seharusnya berada di angka nol dan biasanya ada tombol pemutar untuk mengatur skala titik nol ini.

Galvanometer dapat digunakan secara langsung untuk mengukur arus DC yang kecil. Contohnya, galvanometer dengan sensitivitas  $I_m$  50 mA dapat mengukur arus dari 1 mA sampai dengan 50 mA. Untuk mengukur arus yang lebih besar, sebuah resistor dipasang paralel dengan galvanometer. Amperemeter yang terdiri dari galvanometer yang dipasang paralel dengan resistor disebut **resistor shunt** ("shunt" adalah persamaan kata "paralel dengan"). Penyusunan resistor shunt tampak seperti pada Gambar 7.17. Hambatan shunt adalah  $R$ , dan hambatan kumparan galvanometer (yang membawa arus) adalah  $r$ . Nilai  $R$  dipilih menurut penyimpangan skala penuh yang diinginkan dan biasanya sangat kecil, mengakibatkan hambatan dalam amperemeter sangat kecil pula.



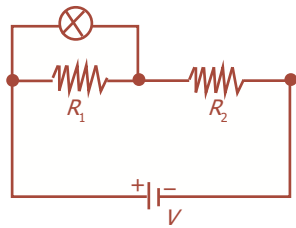
Sumber: *Fisika Jilid 2*, Erlangga, 2001

**Gambar 7.16** Galvanometer pada multimeter.



**Gambar 7.17** Amperemeter dirangkai paralel dengan resistor (resistor shunt).





**Gambar 7.18** Resistor  $R$  yang dihubungkan seri.

Voltmeter juga terdiri dari galvanometer dan resistor. Resistor  $R$  yang dihubungkan seri dan biasanya besar, (Gambar 7.18), mengakibatkan voltmeter mempunyai hambatan dalam yang besar. Sebagai contoh, dengan menggunakan galvanometer yang hambatan dalamnya  $r = 30 \, \Omega$  dan sensitivitas arus skala penuh sebesar  $50 \, \mu\text{A}$ . Kemudian dengan merancang suatu voltmeter yang membaca dari 0 sampai dengan  $15 \, \text{V}$ , apakah skala ini linier? Bila ada beda potensial  $15 \, \text{V}$  di antara kutub-kutub voltmeter, kita menginginkan arus  $50 \, \mu\text{A}$  mengalir melaluinya agar dihasilkan simpangan skala penuh. Dari Hukum Ohm kita dapatkan:

$$15 \, \text{V} = (50 \, \mu\text{A})(r + R)$$

maka:

$$\begin{aligned} R &= \frac{15 \, \text{V}}{5,0 \times 10^{-5} \, \text{A}} - r \\ &= 300 \, \text{k}\Omega - 30 \, \Omega \approx 300 \, \text{k}\Omega \end{aligned}$$

Bila kita perhatikan bahwa  $r = 30 \, \Omega$  sangat kecil jika dibandingkan dengan nilai  $R \approx 300 \, \text{k}\Omega$ , sehingga tidak memengaruhi perhitungan secara signifikan. Skala akan kembali linier jika tegangan yang akan diukur sebesar  $6,0 \, \text{V}$ , arus yang melalui voltmeter akan sebesar:

$$\begin{aligned} I &= \frac{6,0 \, \text{V}}{3,0 \times 10^5 \, \Omega} \\ &= 2,0 \times 10^{-5} \, \text{A} \\ &= 20 \, \mu\text{A} \end{aligned}$$

Ini akan menghasilkan dua per lima simpangan skala penuh, sebanding dengan nilai tegangan:  $\frac{6,0 \, \text{V}}{15,0 \, \text{V}} = \frac{2}{5}$ .

Voltmeter juga dapat dirangkai paralel dengan elemen rangkaian yang tegangannya akan diukur. Voltmeter digunakan untuk mengukur beda potensial antara dua titik dan kedua ujung kawatnya (kawat penghubung) dihubungkan ke dua titik tersebut. Makin besar hambatan dalamnya  $r$ , maka makin kecil pengaruhnya terhadap rangkaian yang diukur.

Voltmeter dan amperemeter mempunyai beberapa resistor seri atau shunt untuk memberikan suatu jangkauan (range) pilihan. Multimeter merupakan alat multiukur, dapat dipakai sebagai pengukur beda potensial, kuat arus listrik, maupun hambatan. Alat ini juga disebut *AVOmeter* (AVO = Amperemeter, Voltmeter, dan Ohmmeter). Gambar 7.19 menunjukkan sebuah multimeter digital (DMM).



Sumber: *Fisika Jilid 2*, Erlangga, 2001

**Gambar 7.19** Sebuah multimeter digital.

Sensitivitas multimeter biasanya ditunjukkan pada tampilannya dan dinyatakan dalam ohm per volt ( $\Omega/V$ ). Skala ini yang menunjukkan ada berapa ohm hambatan pada meter per volt pembacaan skala penuh. Contohnya, jika sensitivitas multimeter  $30.000 \Omega/V$ , berarti pada skala 10 V memiliki hambatan  $300.000 \Omega$ . Sensitivitas arus skala penuh,  $I_m$ , merupakan kebalikan sensitivitas dalam  $\Omega/V$  ( $\Omega/V = A^{-1}$ ). Misalnya, multimeter dengan sensitivitas  $30.000 \Omega/V$  menghasilkan simpangan skala penuh pada 1,0 V di mana  $30.000 \Omega$  dirangkai seri dengan galvanometer. Ini berarti sensitivitas arus adalah:

$$I_m = \frac{1,0 V}{3,0 \times 10^4 \Omega} = 33 \mu A.$$



Sumber: *Ensiklopedi Sains dan Kehidupan*, CV Tarity Samudra Berlian, 2003

**Gambar 7.20** Multimeter untuk mengukur beda potensial, kuat arus listrik, dan hambatan.

### Uji Kemampuan 7.9

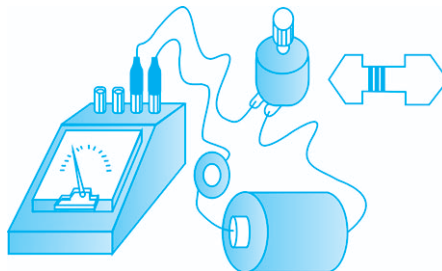
1. Bagaimana cara memasang amperemeter dan voltmeter dalam suatu rangkaian?
2. Jelaskan yang terjadi jika dalam pemasangan amperemeter kutub-kutubnya dalam posisi terbalik!

### Kegiatan

Tujuan : Melakukan pengukuran kuat arus dengan amperemeter.  
 Alat dan bahan : Batu baterai dua buah, berbagai resistor, hambatan variabel, kabel secukupnya, sakelar, amperemeter.

#### Cara Kerja:

1. Siapkan dua buah baterai, berbagai resistor yang mempunyai hambatan berbeda atau sebuah hambatan variabel atau hambatan yang dapat divariasikan, kabel penghubung, sebuah sakelar pemutus arus, dan sebuah amperemeter.
2. Rangkailah peralatan dan bahan sesuai gambar di samping ketika kondisi sakelar *off* atau terbuka.
3. Pada kondisi resistor variabel berharga terbesar *on*-kan sakelar, dan amati arus yang mengalir melalui amperemeter yang dipasang (baca  $\pm 5$  kali).
4. Ubah dengan cara memutar resistor variabel atau mengganti hambatan yang berbeda besarnya, amati pembacaan amperemeter.
5. Ulangi langkah 4 untuk berbagai besar hambatan resistor dan tegangan baterai.
6. Masukkan data percobaan pada tabel yang tersedia.



#### Diskusi:

1. Apa yang disebut dengan arus listrik?
2. Apa hubungan antara kuat arus listrik dengan beda potensial listrik pada suatu rangkaian listrik sederhana?
3. Apa dimensi dari arus listrik?
4. Ralat nisbi dari sebuah amperemeter adalah 5%. Pada pengukuran arus listrik menunjukkan harga 5 A, berapakah batas pembacaan atas dan bawah dari amperemeter ini?
5. Apakah hubungan antara arus listrik dengan banyaknya elektron yang mengalir pada suatu rangkaian?

## Fiesta

Fisikawan Kita



### George Simon Ohm (1787 - 1854)

Lahir di Erlangen Bavaria, Jerman pada tanggal 7 Juli 1787. Ayahnya seorang mandor montir. Ohm bercita-cita ingin menjadi guru besar di perguruan tinggi.

Pada serangkaian eksperimen sekitar tahun 1825, ilmuwan Jerman George Ohm (1789 - 1854) menunjukkan bahwa tidak ada konduktor listrik yang sempurna. Eksperimen yang dilakukannya menunjukkan adanya hubungan matematika antara hambatan, perbedaan potensial, dan arus.

Hukum Ohm yang ditemukan pada tahun 1826 menyatakan bahwa apabila suhu tidak berubah, arus yang mengalir melewati konduktor tertentu sebanding dengan perbedaan potensial di seberangnya. Ini dinyatakan dalam rumus  $I(\text{arus}) = \frac{V(\text{tegangan})}{R(\text{hambatan})}$ . Rumus ini menjadi landasan dari rancangan sirkuit listrik.

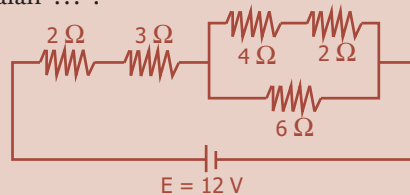
### Kilas Balik

- \* Arus listrik adalah aliran muatan listrik melalui sebuah konduktor. Arus ini bergerak dari potensial tinggi ke potensial rendah.
- \* Hukum Ohm berbunyi “arus yang mengalir berbanding lurus dengan beda potensial antara ujung-ujung penghantar dan berbanding terbalik dengan hambatannya.”
- \* Arus mengalir dengan tetap pada satu arah yang disebut **arus searah** atau **DC** (direct current).
- \* Rangkaian seri adalah suatu penyusunan komponen-komponen di mana semua arus mengalir melewati komponen-komponen tersebut secara berurutan.
- \* Rangkaian paralel adalah suatu penyusunan komponen-komponen di mana arus terbagi untuk melewati komponen-komponen secara serentak.

## Uji Kompetensi

### A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

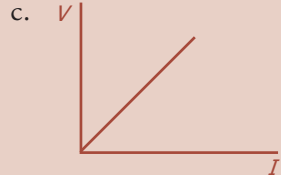
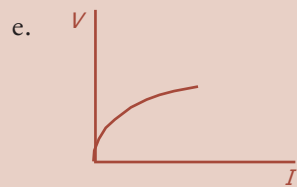
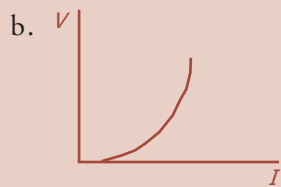
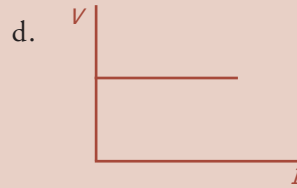
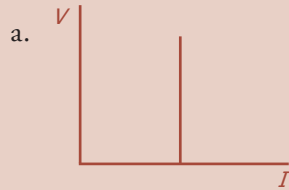
1. Arus sebesar 2 A mengalir pada kawat penghantar yang memiliki beda potensial 12 V. Besar muatan yang mengalir tiap menit pada kawat penghantar itu adalah ... .
  - a. 20 C
  - d. 180 C
  - b. 60 C
  - e. 240 C
  - c. 120 C
2. Tiga buah hambatan masing-masing  $4\ \Omega$ ,  $6\ \Omega$  dan  $12\ \Omega$  disusun paralel dan dihubungkan dengan sumber tegangan listrik. Perbandingan arus yang mengalir pada masing-masing hambatan adalah ... .
  - a. 1 : 2 : 3
  - d. 2 : 1 : 3
  - b. 1 : 3 : 1
  - e. 2 : 3 : 1
  - c. 3 : 2 : 1
3. Suatu penghantar panjangnya 2 m dipasang pada beda potensial 6 V, ternyata arus yang mengalir 3 A. Jika luas penampang kawat  $5,5 \times 10^{-2}\ \text{mm}^2$ , maka besar hambatan dan hambatan jenis kawat adalah ... .
  - a.  $2\ \Omega$  dan  $2,75 \times 10^{-8}\ \Omega\text{m}$
  - b.  $2\ \Omega$  dan  $5,5 \times 10^{-8}\ \Omega\text{m}$
  - c.  $2\ \Omega$  dan  $1,1 \times 10^{-7}\ \Omega\text{m}$
  - d.  $20\ \Omega$  dan  $5,5 \times 10^{-7}\ \Omega\text{m}$
  - e.  $20\ \Omega$  dan  $2,75 \times 10^{-7}\ \Omega\text{m}$
4. Kuat arus yang mengalir melalui hambatan  $6\ \Omega$  pada gambar di bawah ini adalah ... .



- a. 0,75 A
d. 6 A
  - b. 1,5 A
e. 12 A
  - c. 3 A
5. Arus listrik dari PLN yang sampai ke rumah-rumah mempunyai tegangan 220 V. Tegangan tersebut adalah ... .
    - a. tegangan efektif
    - b. tegangan rata-rata
    - c. tegangan minimum
    - d. tegangan maksimum
    - e. tegangan puncak ke puncak

6. Sebuah bola lampu listrik bertuliskan  $220\text{ V}/50\ \Omega$ . Pernyataan berikut yang benar adalah ... .
- dayanya selalu 50 watt
  - tahanannya sebesar  $484\ \Omega$
  - untuk menyalakannya diperlukan aliran arus sebesar 5 A
  - untuk menyalakan diperlukan tegangan minimum 220 V
  - menghabiskan energi sebesar 50 J dalam waktu 1 detik bila dihubungkan dengan sumber tegangan 220 V

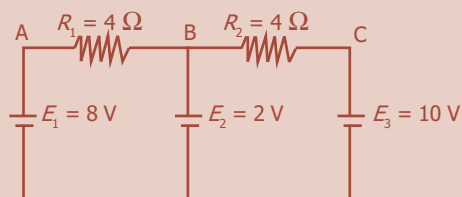
7. Grafik hubungan antara beda potensial ( $V$ ) dan kuat arus ( $I$ ) adalah ... .



8. Sebuah baterai dihubungkan dengan sebuah resistor akan menghasilkan arus 0,6 A. Jika pada rangkaian tersebut ditambahkan sebuah resistor  $4\ \Omega$  yang dihubungkan seri dengan resistor pertama, maka arus akan turun menjadi 0,5 A. Ggl baterai adalah ... .

- |         |         |
|---------|---------|
| a. 10 V | d. 13 V |
| b. 11 V | e. 14 V |
| c. 12 V |         |

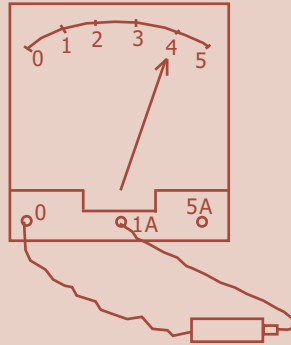
9. Diketahui rangkaian listrik seperti pada gambar berikut ini.



Beda potensial antara titik A dan B adalah ... .

- |           |           |
|-----------|-----------|
| a. 0 volt | d. 6 volt |
| b. 2 volt | e. 8 volt |
| c. 4 volt |           |

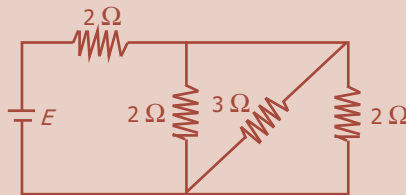
10. Perhatikan penunjukan jarum amperemeter serta batas ukur maksimum yang digunakan seperti tampak pada gambar berikut ini. Nilai kuat arus yang sedang diukur sebesar ... .



- |          |          |
|----------|----------|
| a. 0,4 A | d. 4,0 A |
| b. 0,8 A | e. 5,0 A |
| c. 1,0 A |          |

**B. Jawablah dengan singkat dan benar!**

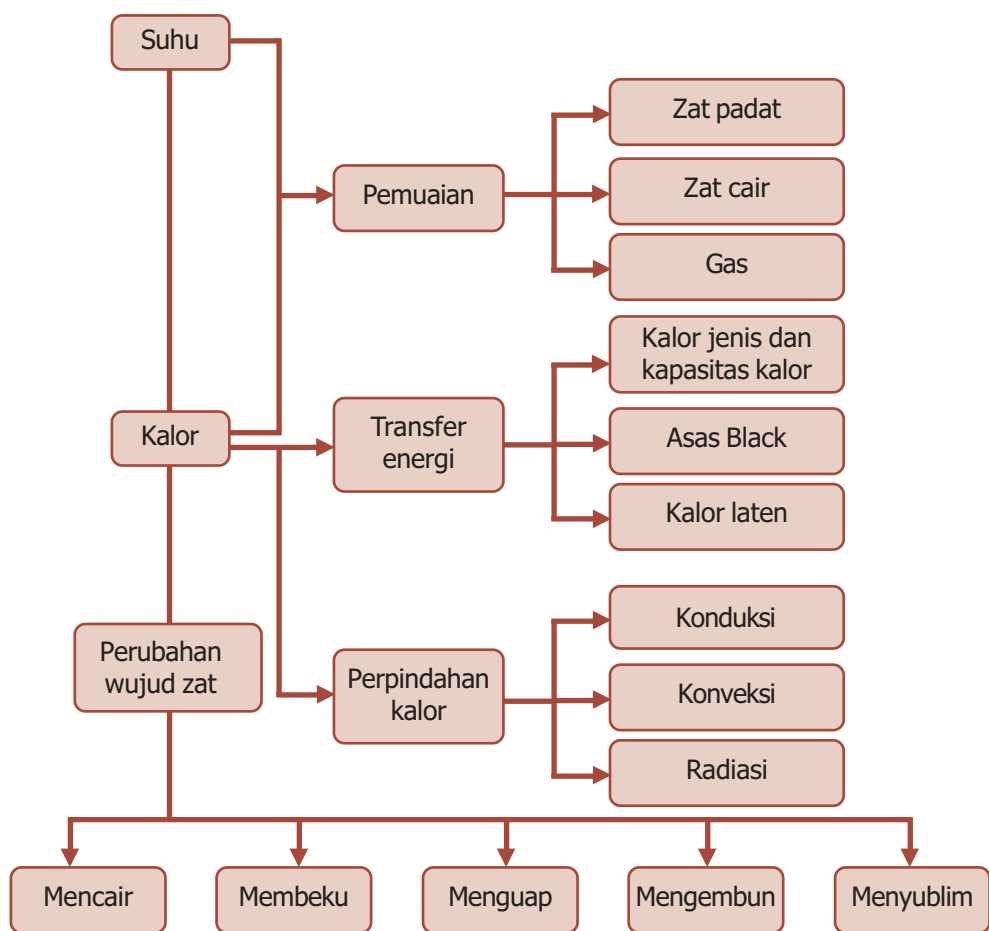
- Pada suatu kawat penghantar yang luas penampangnya  $0,2 \text{ mm}^2$  mengalir arus listrik sebesar  $0,17 \text{ A}$ . Untuk waktu selama satu jam, tentukan:
  - besar muatan yang mengalir,
  - banyaknya elektron yang mengalir, jika muatan elektron  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ !
- Suatu kawat penghantar mempunyai diameter  $4 \text{ mm}$  dan panjang  $4 \text{ m}$ . Hambatan jenis kawat  $3,14 \times 10^{-6} \Omega \text{ m}$ . Berapa besar hambatan kawat penghantar itu?
- Pada rangkaian seperti gambar di bawah ini, ggl baterai  $6 \text{ V}$  dan hambatan dalamnya  $0,25 \Omega$ . Tentukan kuat arus yang mengalir pada hambatan  $3 \Omega$ !



- Empat buah elemen yang memiliki ggl  $1,5 \text{ V}$  dan hambatan dalamnya  $0,25 \Omega$  dihubungkan secara seri. Rangkaian ini kemudian dihubungkan dengan hambatan luar  $3 \Omega$ . Tentukan tegangan jepitnya!
- Sebuah voltmeter memiliki hambatan  $100 \Omega$  dengan batas ukur maksimum  $40 \text{ mV}$ . Berapa besar hambatan shunt harus dipasang pada alat ini agar dapat dipakai untuk mengukur tegangan sampai  $10 \text{ V}$ ?

# PETA KONSEP

## Bab 6 Suhu dan Kalor



# BAB

## 6

## SUHU DAN KALOR



- *Magic com* memiliki elemen pemanas yang mengubah energi listrik menjadi kalor.

Sumber: *Dokumen Penerbit*, 2006

**M**agic com, seperti tampak pada gambar di atas, memanfaatkan kalor untuk menjaga nasi tetap hangat. Alat tersebut memiliki elemen pemanas yang mengubah energi listrik menjadi kalor dan mempertahankan suhu. Bahan yang semula berupa beras dan air, dengan kalor dapat diubah menjadi nasi dan uap. Hal ini menunjukkan kalor dapat mengubah wujud zat. Marilah kita pelajari lebih lanjut uraian berikut ini.



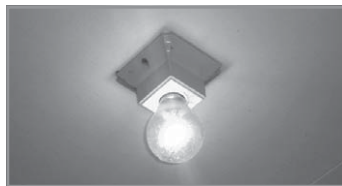
## Kata Kunci

Celsius, Fahrenheit, kalor, Kelvin, konduksi, konveksi, pemuaian, radiasi, suhu

Sebuah ketel yang berisi air dingin dan diletakkan di atas kompor, maka suhu air tersebut akan naik. Hal tersebut kita katakan bahwa kalor mengalir dari kompor ke air yang dingin. Ketika dua benda yang suhunya berbeda diletakkan saling bersentuhan, kalor akan mengalir seketika dari benda yang suhunya tinggi ke benda yang suhunya rendah. Aliran kalor seketika ini selalu dalam arah yang cenderung menyamakan suhu. Jika kedua benda itu disentuhkan cukup lama sehingga suhu keduanya sama, keduanya dikatakan dalam keadaan setimbang termal, dan tidak ada lagi kalor yang mengalir di antaranya. Sebagai contoh, pada saat termometer tubuh pertama kali dimasukkan ke mulut pasien, kalor mengalir dari mulut pasien tersebut ke termometer, ketika pembacaan suhu berhenti naik, termometer setimbang dengan suhu tubuh orang tersebut.

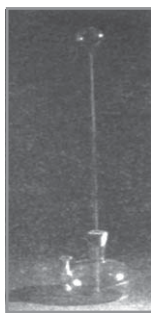


### A. Suhu (Temperatur)



Sumber: *Dokumen Penerbit*, 2006

**Gambar 6.1** Cahaya putih dari bola lampu pijar berasal dari kawat tungsten yang sangat panas.



Sumber: *Fisika Jilid 1*, Erlangga, 2001

**Gambar 6.2** Model gagasan awal Galileo untuk termometer.

Dalam kehidupan sehari-hari, suhu merupakan ukuran mengenai panas atau dinginnya suatu zat atau benda. Oven yang panas dikatakan bersuhu tinggi, sedangkan es yang membeku dikatakan memiliki suhu rendah.

Suhu dapat mengubah sifat zat, contohnya sebagian besar zat akan memuai ketika dipanaskan. Sebatang besi lebih panjang ketika dipanaskan daripada dalam keadaan dingin. Jalan dan trotoar beton memuai dan menyusut terhadap perubahan suhu. Hambatan listrik dan materi zat juga berubah terhadap suhu. Demikian juga warna yang dipancarkan benda, paling tidak pada suhu tinggi. Kalau kita perhatikan, elemen pemanas kompor listrik memancarkan warna merah ketika panas. Pada suhu yang lebih tinggi, zat padat seperti besi bersinar jingga atau bahkan putih. Cahaya putih dari bola lampu pijar berasal dari kawat tungsten yang sangat panas.

Alat yang dirancang untuk mengukur suhu suatu zat disebut **termometer**. Ada beberapa jenis termometer, yang prinsip kerjanya bergantung pada beberapa sifat materi yang berubah terhadap suhu. Sebagian besar termometer umumnya bergantung pada pemuaian materi terhadap naiknya suhu. Ide pertama penggunaan termometer adalah oleh Galileo, yang menggunakan pemuaian gas, tampak seperti pada Gambar 6.2.

Termometer umum saat ini terdiri dari tabung kaca dengan ruang di tengahnya yang diisi air raksa atau alkohol yang diberi warna merah, seperti termometer pertama yang dapat digunakan seperti pada Gambar 6.3(a). Pada Gambar 6.3(b), menunjukkan termometer klinis pertama dengan jenis berbeda, juga berdasarkan pada perubahan massa jenis terhadap suhu.

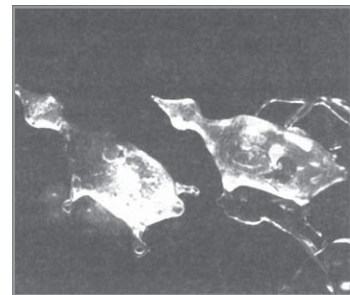
Untuk mengukur suhu secara kuantitatif, perlu didefinisikan semacam skala numerik. Skala yang paling banyak dipakai sekarang adalah skala **Celsius**, kadang disebut skala **Centigrade**. Di Amerika Serikat, skala **Fahrenheit** juga umum digunakan. Skala yang paling penting dalam sains adalah skala absolut atau **Kelvin**.

Satu cara untuk mendefinisikan skala suhu adalah dengan memberikan nilai sembarang untuk dua suhu yang bisa langsung dihasilkan. Untuk skala Celsius dan Fahrenheit, kedua titik tetap ini dipilih sebagai titik beku dan titik didih dari air, keduanya diambil pada tekanan atmosfer. **Titik beku** zat didefinisikan sebagai suhu di mana fase padat dan cair ada bersama dalam kesetimbangan, yaitu tanpa adanya zat cair total yang berubah menjadi padat atau sebaliknya. Secara eksperimen, hal ini hanya terjadi pada suhu tertentu, untuk tekanan tertentu. Dengan cara yang sama, **titik didih** didefinisikan sebagai suhu di mana zat cair dan gas ada bersama dalam kesetimbangan. Karena titik-titik ini berubah terhadap tekanan, tekanan harus ditentukan (biasanya sebesar 1 atm).

Pada skala Celsius, titik beku dipilih  $0^{\circ}\text{C}$  ("nol derajat Celsius") dan titik didih  $100^{\circ}\text{C}$ . Pada skala Fahrenheit, titik beku ditetapkan  $32^{\circ}\text{F}$  dan titik didih  $212^{\circ}\text{F}$ . Termometer praktis dikalibrasi dengan menempatkannya di lingkungan yang telah diatur dengan teliti untuk masing-masing dari kedua suhu tersebut dan menandai posisi air raksa atau penunjuk skala. Untuk skala Celsius, jarak antara kedua tanda tersebut dibagi menjadi seratus bagian yang sama dan menyatakan setiap derajat antara  $0^{\circ}\text{C}$  dan  $100^{\circ}\text{C}$ . Untuk skala Fahrenheit, kedua titik diberi angka  $32^{\circ}\text{F}$  dan  $212^{\circ}\text{F}$ , jarak antara keduanya dibagi menjadi 180 bagian yang sama. Untuk suhu di bawah titik beku air dan di atas titik didih air, skala dapat dilanjutkan dengan menggunakan selang yang memiliki jarak sama. Bagaimana pun, termometer biasa hanya dapat digunakan pada jangkauan suhu yang terbatas karena keterbatasannya sendiri.



(a)



(b)

Sumber: *Fisika Jilid 1*, Erlangga, 2001

### Gambar 6.3

(a) Termometer yang dibuat oleh Accademia del Cimento (1657 - 1667) di Florence, satu dari yang pertama dikenal, (b) termometer klinis yang berbentuk katak.



(a)

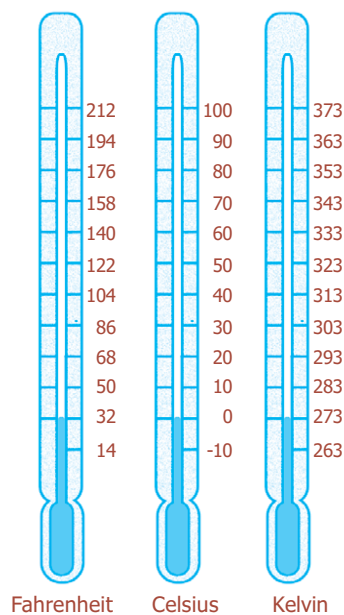


(b)

Sumber: *Kamus Visual*, PT Bhuana Ilmu Populer, 2004

### Gambar 6.4

(a) Termometer ruang, (b) termometer badan.



**Gambar 6.5** Konversi skala termometer Fahrenheit, Celsius, dan Kelvin.

Setiap suhu pada skala Celsius berhubungan dengan suatu suhu tertentu pada skala Fahrenheit. Gambar 6.5 menunjukkan konversi suhu suatu zat dalam skala Celsius dan Fahrenheit. Tentunya sangat mudah untuk mengonversikannya, mengingat bahwa 0 °C sama dengan 32 °F, dan jangkauan 100° pada skala Celsius sama dengan jangkauan 180° pada skala Fahrenheit. Hal ini berarti

$$1\text{ }^{\circ}\text{F} = \frac{100}{180}\text{ }^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Perbandingan beberapa skala termometer adalah sebagai berikut:

$$T_C : (T_F - 32) : T_R = 5 : 9 : 4 \dots\dots\dots (6.1)$$

Konversi antara skala Celsius dan skala Fahrenheit dapat dituliskan:

$$T_C = \frac{5}{9} (T_F - 32) \text{ atau } T_F = \frac{9}{5} T_C + 32 \dots\dots\dots (6.2)$$

Konversi antara skala Celsius dan skala Reamur dapat dituliskan:

$$T_C = \frac{5}{4} T_R \text{ atau } T_R = \frac{4}{5} T_C \dots\dots\dots (6.3)$$

Konversi antara skala Fahrenheit dan skala Reamur dapat dituliskan:

$$T_R = \frac{4}{9} (T_F - 32) \text{ atau } T_F = \frac{9}{4} T_R + 32 \dots\dots\dots (6.4)$$

### Contoh Soal

Suhu udara di ruangan 95 °F. Nyatakan suhu tersebut ke dalam skala Kelvin!

*Penyelesaian:*

$$95\text{ }^{\circ}\text{F} = \frac{5}{9} (95 - 32) = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$35\text{ }^{\circ}\text{C} = (35 + 273)\text{ K} = 308\text{ K}$$

### Uji Kemampuan 6.1

Lengkapilah tabel berikut!

No.	Skala Celsius	Skala Fahrenheit	Skala Kelvin
1.	.....	131 °F	.....
2.	55 °C	.....	.....
3.	.....	.....	288 K



## B. Pemuaian

Pemuaian adalah bertambah besarnya ukuran suatu benda karena kenaikan suhu yang terjadi pada benda tersebut. Kenaikan suhu yang terjadi menyebabkan benda itu mendapat tambahan energi berupa kalor yang menyebabkan molekul-molekul pada benda tersebut bergerak lebih cepat. Setiap zat mempunyai kemampuan memuai yang berbeda-beda. Gas, misalnya, memiliki kemampuan memuai lebih besar daripada zat cair dan zat padat. Adapun kemampuan memuai zat cair lebih besar daripada zat padat. Tabel 6.1 menunjukkan koefisien muai panjang pada berbagai zat.



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*, PT Ichtiar Baru van Hoeve, 2005

**Gambar 6.6** Rel kereta api dibuat renggang untuk tempat pemuaian karena kenaikan suhu di siang hari.

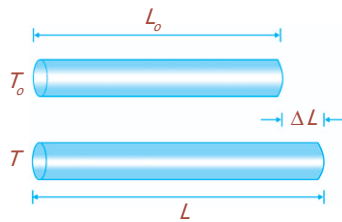
**Tabel 6.1** Koefisien muai panjang berbagai zat pada suhu 20 °C

Zat	Koefisien Muai Panjang, $\alpha$ (/°C)	Koefisien Muai Ruang, $\gamma$ (/°C)
<b>Padat</b>		
Aluminium	$25 \times 10^{-6}$	$75 \times 10^{-6}$
Kuningan	$19 \times 10^{-6}$	$56 \times 10^{-6}$
Besi atau baja	$12 \times 10^{-6}$	$35 \times 10^{-6}$
Timah hitam	$29 \times 10^{-6}$	$87 \times 10^{-6}$
Kaca (pyrex)	$3 \times 10^{-6}$	$9 \times 10^{-6}$
Kaca (biasa)	$9 \times 10^{-6}$	$27 \times 10^{-6}$
Kuarsa	$0,4 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$
Beton dan bata	$12 \times 10^{-6}$	$36 \times 10^{-6}$
Marmer	$1,4-3,5 \times 10^{-6}$	$4-10 \times 10^{-6}$
<b>Cair</b>		
Bensin		$950 \times 10^{-6}$
Air raksa		$180 \times 10^{-6}$
Ethyl alkohol		$1.100 \times 10^{-6}$
Gliserin		$500 \times 10^{-6}$
Air		$210 \times 10^{-6}$
<b>Gas</b>		
Udara (sebagian besar gas pada tekanan atmosfer)		$3.400 \times 10^{-6}$

### 1. Pemuaian Zat Padat

#### a. Muai Panjang

Percobaan menunjukkan bahwa perubahan panjang  $\Delta L$  pada semua zat padat, dengan pendekatan yang sangat baik, berbanding lurus dengan perubahan suhu  $\Delta T$ .



**Gambar 6.7** Muai panjang pada besi.

## BETA<sup>®</sup> Berita Fisika

Salah satu alat yang dapat digunakan untuk menyelidiki muai panjang zat padat berbentuk batang adalah Musshenbroek.



Sumber: *Jendela Iptek Gaya dan Gerak*, PT Balai Pustaka, 2000

**Gambar 6.8** Saat diisi air panas gelas menjadi pecah karena memuai.

Perubahan panjang juga sebanding dengan panjang awal  $L_0$ , seperti Gambar 6.7. Sebagai contoh, untuk perubahan suhu yang sama, batang besi 4 m akan bertambah panjang dua kali lipat dibandingkan batang besi 2 m.

Besarnya perubahan panjang dapat dituliskan dalam suatu persamaan:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T \quad (6.5)$$

Di mana  $\alpha$  adalah konstanta pembanding, disebut *koefisien muai linier* (koefisien muai panjang) untuk zat tertentu dan memiliki satuan  $1/^\circ\text{C}$  atau  $(^\circ\text{C})^{-1}$ .

Panjang benda ketika dipanaskan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$L = L_0(1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (6.6)$$

dengan:

$L$  = panjang benda saat dipanaskan (m)

$L_0$  = panjang benda mula-mula (m)

$\alpha$  = koefisien muai linier/panjang ( $1/^\circ\text{C}$ )

$\Delta T$  = perubahan suhu ( $^\circ\text{C}$ )

Jika perubahan suhu  $\Delta T = T - T_0$  bernilai negatif, maka  $\Delta L = L - L_0$  juga negatif, berarti panjang benda memendek (menyusut).

Nilai koefisien muai panjang ( $\alpha$ ) untuk berbagai zat pada suhu  $20^\circ\text{C}$  dapat dilihat pada Tabel 6.1. Perlu diperhatikan bahwa koefisien muai panjang ( $\alpha$ ) sedikit bervariasi terhadap suhu. Hal ini yang menyebabkan mengapa termometer yang dibuat dari bahan yang berbeda tidak memberikan nilai yang tepat sama.

### b. Muai Luas

Apabila suatu benda berbentuk bidang atau luasan, misalnya bujur sangkar tipis dengan sisi  $L_0$ , dipanaskan hingga suhunya naik sebesar  $\Delta T$ , maka bujur sangkar tersebut akan memuai pada kedua sisinya.

Luas benda mula-mula adalah  $A_0 = L_0^2$ .

Pada saat dipanaskan, setiap sisi benda memuai sebesar  $\Delta L$ . Hal ini berarti akan membentuk bujur sangkar baru dengan sisi  $(L_0 + \Delta L)$ . Dengan demikian, luas benda saat dipanaskan adalah:

$$A = (L_0 + \Delta L)^2 = L_0^2 + 2L_0 \Delta L + (\Delta L)^2$$

Karena  $\Delta L$  cukup kecil, maka nilai  $(\Delta L)^2$  mendekati nol sehingga dapat diabaikan. Dengan anggapan ini diperoleh luas benda saat dipanaskan seperti berikut ini.

$$A = L_0^2 + 2L_0 \Delta L$$

$$\begin{aligned}
 A &= A_0^2 + 2L_0 \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T \\
 A &= A_0 + 2\alpha \cdot A_0 \cdot \Delta T \\
 A &= A_0 + \beta \cdot A_0 \cdot \Delta T \dots\dots\dots (6.7)
 \end{aligned}$$

$$A = A_0(1 + \beta \cdot \Delta T) \dots\dots\dots (6.8)$$

dengan:

$A$  = luas benda saat dipanaskan ( $\text{m}^2$ )

$A_0$  = luas benda mula-mula ( $\text{m}^2$ )

$\beta = 2\alpha$  = koefisien muai luas ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta T$  = perubahan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )

Dari persamaan (6.7) didapatkan perubahan luas akibat pemuaian, yaitu:

$$\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta T \dots\dots\dots (6.9)$$

Jika perubahan suhu  $\Delta T = T - T_0$  bernilai negatif, maka  $\Delta A = A - A_0$  juga negatif, berarti luas benda menyusut.

### Contoh Soal

Sebatang besi dengan panjang 4 m dan lebar 20 cm bersuhu  $20^{\circ}\text{C}$ . Jika besi tersebut dipanaskan hingga mencapai  $40^{\circ}\text{C}$ , berapakah luas kaca setelah dipanaskan? ( $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ )

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $A_0 = 4 \times 0,2 = 0,8 \text{ m}^2$

$\Delta T = (40 - 20)^{\circ}\text{C} = 20^{\circ}\text{C}$

$\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C} \rightarrow \beta = 24 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$

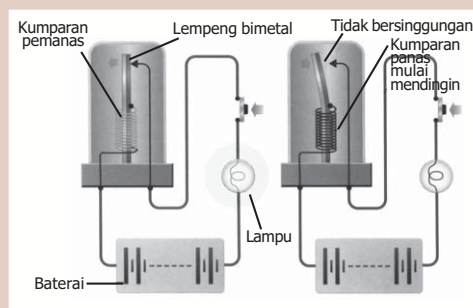
Ditanya:  $A = \dots ?$

Jawab:

$\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta T = (24 \times 10^{-6})(0,8)(20) = 384 \times 10^{-6} \text{ m}^2 = 0,384 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

$A = (800 \times 10^{-3}) + (0,384 \times 10^{-3}) = 800,384 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 0,800384 \text{ m}^2$

## Percikan Fisika



### Lampu Kedip Mobil

Lampu kedip di mobil menggunakan lempeng bimetal, yang terdiri dari dua logam yang memuai dengan laju berbeda. Ketika lampu menyala, lempeng tersebut memanaskan dan meliuk. Liukan ini memutuskan rangkaian yang memanaskannya. Lempeng ini akan mendingin, menyambung rangkaian dan kembali menyalakan lampu.

Kebanyakan zat memuai saat dipanaskan, molekul-molekulnya bergerak lebih cepat dan lebih berjauhan. Besarnya pemuaian tergantung pada gaya antarmolekul.

Muai panjang  
 $L = L_0(1 + \alpha \Delta T)$   
Muai luas  
 $A = A_0(1 + \beta \Delta T)$   
Muai volume  
 $V = V_0(1 + \gamma \Delta T)$

### c. Muai Volume

Apabila suatu benda berbentuk volume atau padatan, misalnya kubus dengan sisi  $L_0$  dipanaskan hingga suhunya naik sebesar  $\Delta T$ , maka kubus tersebut akan memuai pada setiap sisinya.

Volume benda mula-mula adalah:  $V_0 = V_0^3$ .

Pada saat dipanaskan, setiap sisi benda (kubus) memuai sebesar  $\Delta L$ . Hal ini berarti akan membentuk kubus baru dengan sisi  $(L_0 + \Delta L)$ . Dengan demikian volume benda saat dipanaskan adalah:

$$A = (L_0 + \Delta L)^3 = L_0^3 + 3L_0^2 \Delta L + 3L_0(\Delta L)^2 + (\Delta L)^3$$

Karena  $\Delta L$  cukup kecil, maka nilai  $(\Delta L)^2$  dan  $(\Delta L)^3$  mendekati nol sehingga dapat diabaikan. Dengan anggapan ini diperoleh volume benda saat dipanaskan sebagai berikut:

$$V = L_0^3 + 3L_0^2 \Delta L$$

$$V = V_0 + 3L_0^2 \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

$$V = V_0 + 3\alpha \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

$$V = V_0 + \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T \quad \dots\dots\dots (6.10)$$

$$V = V_0(1 + \gamma \cdot \Delta T) \quad \dots\dots\dots (6.11)$$

dengan:

$V$  = volume benda saat dipanaskan ( $m^3$ )

$V_0$  = volume benda mula-mula ( $m^3$ )

$\gamma = 3\alpha$  = koefisien muai volume ( $^{\circ}C$ )

$\Delta T$  = perubahan suhu ( $^{\circ}C$ )

Dari persamaan (6.10) didapatkan perubahan volume akibat pemuaian, yaitu:

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T \quad \dots\dots\dots (6.12)$$

Jika perubahan suhu  $\Delta T = T - T_0$  bernilai negatif, maka  $\Delta V = V - V_0$  juga negatif, berarti volume benda menyusut.

#### Uji Kemampuan 6.2

1. Sebuah kawat aluminium dipanaskan dari suhu 295 K sampai 331 K dan panjangnya mencapai 3,7 m. Jika  $\alpha = 25 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ , tentukan panjang kawat mula-mula!
2. Air sebanyak 10 liter bersuhu 20  $^{\circ}C$  dipanaskan hingga mencapai 90  $^{\circ}C$ . Jika  $\gamma = 210 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ , hitunglah volume akhir air tersebut!



## 2. Pemuaian Zat Cair

Seperti halnya zat padat, zat cair akan memuai volumenya jika dipanaskan. Sebagai contoh, ketika kita memanaskan panci yang berisi penuh dengan air, apa yang akan terjadi pada air di dalam panci tersebut? Pada suhu yang sangat tinggi, sebagian dari air tersebut akan tumpah. Hal ini berarti volume air di dalam panci tersebut memuai atau volumenya bertambah.

Sebagian besar zat akan memuai secara beraturan terhadap penambahan suhu. Akan tetapi, air tidak mengikuti pola yang biasa. Bila sejumlah air pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  dipanaskan, volumenya menurun sampai mencapai suhu  $4^{\circ}\text{C}$ . Kemudian, suhu di atas  $4^{\circ}\text{C}$  air berperilaku normal dan volumenya memuai terhadap bertambahnya suhu, seperti Gambar 6.10. Pada suhu di antara  $0^{\circ}\text{C}$  dan  $4^{\circ}\text{C}$  air menyusut dan di atas suhu  $4^{\circ}\text{C}$  air memuai jika dipanaskan. Sifat pemuaian air yang tidak teratur ini disebut *anomali air*. Dengan demikian, air memiliki massa jenis yang paling tinggi pada  $4^{\circ}\text{C}$ . Perilaku air yang menyimpang ini sangat penting untuk bertahan hidupnya kehidupan air selama musim dingin. Ketika suhu air di danau atau sungai di atas  $4^{\circ}\text{C}$  dan mulai mendingin karena kontak dengan udara yang dingin, air di permukaan terbenam karena massa jenisnya yang lebih besar dan digantikan oleh air yang lebih hangat dari bawah. Campuran ini berlanjut sampai suhu mencapai  $4^{\circ}\text{C}$ . Sementara permukaan air menjadi lebih dingin lagi, air tersebut tetap di permukaan karena massa jenisnya lebih kecil dari  $4^{\circ}\text{C}$  air di sebelah bawahnya. Air di permukaan kemudian membeku, dan es tetap di permukaan karena es mempunyai massa jenis lebih kecil dari air.

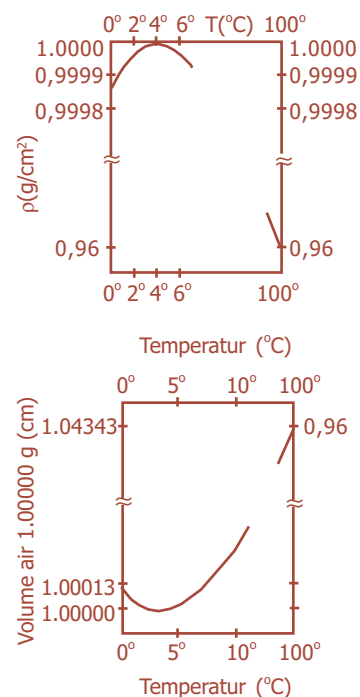
Perilaku yang tidak biasa dari air di bawah  $4^{\circ}\text{C}$ , menyebabkan jarang terjadi sebuah benda yang besar membeku seluruhnya, dan hal ini dibantu oleh lapisan es di permukaan, yang berfungsi sebagai isolator untuk memperkecil aliran panas ke luar dari air ke udara dingin di atasnya. Tanpa adanya sifat yang aneh tapi istimewa dari air ini, kehidupan di planet kita mungkin tidak bisa berlangsung.

Air tidak hanya memuai pada waktu mendingin dari  $4^{\circ}\text{C}$  sampai  $0^{\circ}\text{C}$ , air juga memuai lebih banyak lagi saat membeku menjadi es. Hal inilah yang menyebabkan es batu terapung di air dan pipa pecah ketika air di dalamnya membeku.



Sumber: Dokumen Penerbit, 2006

**Gambar 6.9** Air yang dipanaskan akan mengalami pemuaian.



**Gambar 6.10** Anomali air



Sumber: CD ClipArt

**Gambar 6.11** Fenomena gunung es, terjadi karena anomali air.



**Komet**  
Kolom mengingat

Gerakan partikel-partikel gas jauh lebih bebas daripada zat padat dan cair, sehingga gas lebih cepat memuai ketika dipanaskan.

### 3. Pemuaian Gas

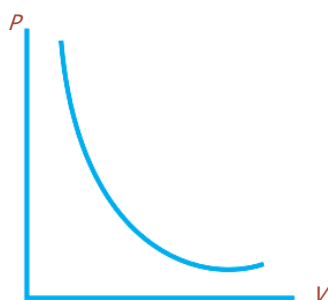
Persamaan (6.12) yang memperlihatkan perubahan volume zat cair akibat pemuaian, ternyata tidak cukup untuk mendeskripsikan pemuaian gas. Hal ini karena pemuaian gas tidak besar, dan karena gas umumnya memuai untuk memenuhi tempatnya. Persamaan tersebut hanya berlaku jika tekanan konstan. Volume gas sangat bergantung pada tekanan dan suhu. Dengan demikian, akan sangat bermanfaat untuk menentukan hubungan antara volume, tekanan, temperatur, dan massa gas. Hubungan seperti ini disebut **persamaan keadaan**. Jika keadaan sistem berubah, kita akan selalu menunggu sampai suhu dan tekanan mencapai nilai yang sama secara keseluruhan.

#### a. Hukum Boyle

Untuk jumlah gas tertentu, ditemukan secara eksperimen bahwa sampai pendekatan yang cukup baik, volume gas berbanding terbalik dengan tekanan yang diberikan padanya ketika suhu dijaga konstan, yaitu:

$$V \propto \frac{1}{P} \quad (T \text{ konstan})$$

dengan  $P$  adalah tekanan absolut (bukan “tekanan ukur”). Jika tekanan gas digandakan menjadi dua kali semula, volume diperkecil sampai setengah nilai awalnya. Hubungan ini dikenal sebagai *Hukum Boyle*, dari Robert Boyle (1627 - 1691), yang pertama kali menyatakan atas dasar percobaannya sendiri. Grafik tekanan ( $P$ ) terhadap volume gas ( $V$ ) untuk suhu tetap tampak seperti pada Gambar 6.12. Hukum Boyle juga dapat dituliskan:



**Gambar 6.12** Grafik hubungan  $P$  -  $V$  pada suhu konstan.

$$PV = \text{konstan}, \quad \text{atau} \quad P_1 V_1 = P_2 V_2 \dots \dots \dots (6.13)$$

dengan:

$P$  = tekanan gas pada suhu tetap (Pa)

$V$  = volume gas pada suhu tetap ( $\text{m}^3$ )

$P_1$  = tekanan gas pada keadaan I (Pa)

$P_2$  = tekanan gas pada keadaan II (Pa)

$V_1$  = volume gas pada keadaan I ( $\text{m}^3$ )

$V_2$  = volume gas pada keadaan II ( $\text{m}^3$ )

Persamaan (6.13) menunjukkan bahwa pada suhu tetap, jika tekanan gas dibiarkan berubah maka volume gas juga berubah atau sebaliknya, sehingga hasil kali  $PV$  tetap konstan.

## b. Hukum Charles

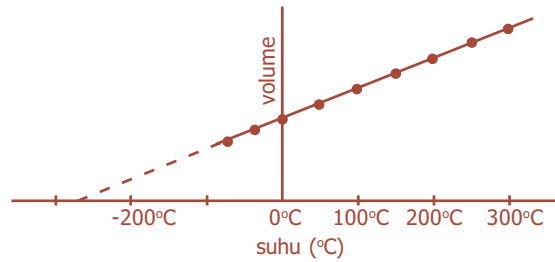
Suhu juga memengaruhi volume gas, tetapi hubungan kuantitatif antara  $V$  dan  $T$  tidak ditemukan sampai satu abad setelah penemuan Robert Boyle. Seorang ilmuwan dari Prancis, Jacques Charles (1746 - 1823) menemukan bahwa ketika tekanan gas tidak terlalu tinggi dan dijaga konstan, volume gas bertambah terhadap suhu dengan kecepatan hampir konstan, yang diilustrasikan seperti pada Gambar 6.13. Perlu kita ingat bahwa semua gas mencair pada suhu rendah, misalnya oksigen mencair pada suhu  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dengan demikian, grafik tersebut pada intinya merupakan garis lurus dan jika digambarkan sampai suhu yang lebih rendah, akan memotong sumbu pada sekitar  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Untuk semua gas, grafik hubungan antara volume  $V$  dan suhu  $T$  dapat digambarkan seperti pada Gambar 6.13 tersebut, dan garis lurus selalu menuju kembali ke  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada volume nol. Hal ini menunjukkan bahwa jika gas dapat didinginkan sampai  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ , volumenya akan nol, lalu pada suhu yang lebih rendah lagi volumenya akan negatif. Hal ini tentu saja tidak masuk akal. Bisa dibuktikan bahwa  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  adalah suhu terendah yang mungkin, yang disebut **suhu nol mutlak**, nilainya ditentukan  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Nol mutlak sebagai dasar untuk skala suhu yang dikenal dengan nama **skala mutlak** atau **Kelvin**, yang digunakan secara luas pada bidang sains. Pada skala ini suhu dinyatakan dalam derajat Kelvin, atau lebih mudahnya, hanya sebagai kelvin (K) tanpa simbol derajat. Selang antarderajat pada skala Kelvin sama dengan pada skala Celsius, tetapi nol untuk skala Kelvin (0 K) dipilih sebagai nol mutlak itu sendiri. Dengan demikian, titik beku air adalah  $273,15\text{ K}$  ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dan titik didih air adalah  $373,15\text{ K}$  ( $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Sehingga hubungan antara skala Kelvin dan Celsius dapat dituliskan:

$$T_K = T_C + 273,15 \dots\dots\dots (6.14)$$

Pada Gambar 6.14 menunjukkan grafik hubungan volume gas dan suhu mutlak, yang merupakan garis lurus yang melewati titik asal. Ini berarti sampai pendekatan yang baik, *volume gas dengan jumlah tertentu berbanding lurus dengan suhu mutlak ketika tekanan dijaga konstan*.

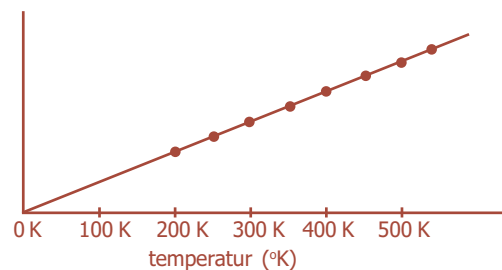


**Gambar 6.13** Volume gas sebagai fungsi dari temperatur Celsius pada tekanan konstan.

Komet

Kolom mengingat

Jacques Alexandre Cesar Charles (1787) mengatakan volume gas pada tekanan konstan berbanding lurus dengan suhu mutlak gas tersebut.



**Gambar 6.14** Volume gas sebagai fungsi dari suhu mutlak pada tekanan konstan.

Pernyataan tersebut dikenal sebagai **Hukum Charles**, dan dituliskan:

$$V \propto T \text{ atau } \frac{V}{T} = \text{konstan, atau}$$

$$\boxed{\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \dots\dots\dots} \quad (6.15)$$

dengan:

- $V$  = volume gas pada tekanan tetap ( $\text{m}^3$ )
- $T$  = suhu mutlak gas pada tekanan tetap (K)
- $V_1$  = volume gas pada keadaan I ( $\text{m}^3$ )
- $V_2$  = volume gas pada keadaan II ( $\text{m}^3$ )
- $T_1$  = suhu mutlak gas pada keadaan I (K)
- $T_2$  = suhu mutlak gas pada keadaan II (K)

### c. Hukum Gay Lussac

Hukum Gay Lussac berasal dari Joseph Gay Lussac (1778 - 1850), menyatakan bahwa *pada volume konstan, tekanan gas berbanding lurus dengan suhu mutlak*, dituliskan:

$$P \propto T \text{ atau } \frac{P}{T} = \text{konstan, atau } \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \dots\dots\dots (6.16)$$

dengan:

- $P$  = tekanan gas pada volume tetap (Pa)
- $T$  = suhu mutlak gas pada volume tetap (K)
- $P_1$  = tekanan gas pada keadaan I (Pa)
- $P_2$  = tekanan gas pada keadaan II (Pa)
- $T_1$  = suhu mutlak gas pada keadaan I (K)
- $T_2$  = suhu mutlak gas pada keadaan II (K)

Contoh nyata dalam kehidupan sehari-hari adalah botol yang tertutup atau kaleng aerosol, jika dilemparkan ke api, maka akan meledak karena naiknya tekanan gas di dalamnya.

## 4. Persamaan Gas Ideal (Hukum Boyle-Gay Lussac)

Hukum-hukum gas dari Boyle, Charles, dan Gay Lussac didapatkan dengan bantuan teknik yang sangat berguna di dalam sains, yaitu menjaga satu atau lebih variabel tetap konstan untuk melihat akibat dari perubahan satu variabel saja. Hukum-hukum ini dapat digabungkan menjadi satu hubungan yang lebih umum antara tekanan, volume, dan suhu dari gas dengan jumlah tertentu:  $PV \propto T$ .

Hubungan ini menunjukkan bahwa besaran  $P$ ,  $V$ , atau  $T$  akan berubah ketika yang lainnya diubah. Percobaan yang teliti menunjukkan bahwa pada suhu dan tekanan konstan, volume  $V$  dari sejumlah gas di tempat tertutup berbanding lurus dengan massa  $m$  dari gas tersebut, yang dapat dituliskan:  $PV \propto mT$ .

### BETA<sup>B</sup> Berita Fisika

Pada tahun 1850, ketika Gay Lussac menyadari ajal sudah dekat ia meminta putranya membakar bukunya *Philosophie chimique*. Dalam eulogi setelah kematiannya Arago (sahabatnya) menyatakan Gay Lussac adalah ahli fisika jenius dan ahli kimia luar biasa.

### Komet Kolom mengingat

Koefisien pemuaian gas apa saja sama, yaitu  $\frac{1}{273}$  volumenya pada suhu  $0^\circ\text{C}$ .

Perbandingan ini dapat dibuat menjadi persamaan dengan memasukkan konstanta perbandingan. Penelitian menunjukkan bahwa konstanta ini memiliki nilai yang berbeda untuk gas yang berbeda. Konstanta perbandingan tersebut ternyata sama untuk semua gas, jika kita menggunakan angka mol. Pada umumnya, jumlah mol,  $n$ , pada suatu sampel zat murni tertentu sama dengan massanya dalam gram dibagi dengan massa molekul yang dinyatakan sebagai gram per mol.

$$n(\text{mol}) = \frac{\text{massa (gram)}}{\text{massa molekul (g/mol)}}$$

Perbandingan tersebut dapat dituliskan sebagai suatu persamaan sebagai berikut:

$$PV = n.R.T \dots\dots\dots (6.17)$$

Dengan,  $n$  menyatakan jumlah mol dan  $R$  adalah konstanta perbandingan.  $R$  disebut konstanta gas umum (universal) karena nilainya secara eksperimen ternyata sama untuk semua gas. Nilai  $R$ , pada beberapa satuan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R &= 8,315 \text{ J}/(\text{mol.K}), \text{ ini merupakan satuan dalam SI} \\ &= 0,0821 \text{ (L.atm)}/(\text{mol.K}) \\ &= 1,99 \text{ kalori}/(\text{mol.K}) \end{aligned}$$

Persamaan (6.17) disebut *Hukum Gas Ideal*, atau persamaan keadaan gas ideal. Istilah “ideal” digunakan karena gas riil tidak mengikuti persamaan (6.17) tersebut.

**Komet**  
Kolom mengingat

Pada hukum Persamaan Gas Ideal (Boyle-Gay Lussac) gas dalam keadaan standar yaitu pada suhu 0 °C dan tekanan 1 atm.

### Contoh Soal

Gas dalam ruang tertutup dengan volume 5 liter bersuhu 37 °C pada tekanan 3 atm. Jika gas tersebut dipanaskan sampai 52 °C, volumenya menjadi 6,5 liter. Berapakah perubahan tekanannya?

*Penyelesaian:*

$$\begin{array}{ll} \text{Diketahui: } V_1 = 5 \text{ liter} & V_2 = 6,5 \text{ liter} \\ T_1 = 37 \text{ }^\circ\text{C} & T_2 = 52 \text{ }^\circ\text{C} \\ P_1 = 3 \text{ atm} & \end{array}$$

$$\text{Ditanya: } \Delta P = \dots ?$$

*Jawab:*

$$\begin{aligned} \frac{P_1 V_1}{T_1} &= \frac{P_2 V_2}{T_2} \\ \frac{3 \times 5}{310} &= \frac{P_2 (6,5)}{325} \\ P_2 &= \frac{325 \times 15}{310 \times 6,5} = 2,4 \text{ atm} \\ \Delta P &= 3 - 2,4 = 0,6 \text{ atm} \end{aligned}$$

### Uji Kemampuan 6.3

Gas dengan volume 7 liter pada suhu 293 K dan tekanan 2 atm dimampatkan hingga tekanannya mencapai 6 atm pada suhu 348 K. Hitunglah volume gas sekarang!



## C. Pengaruh Kalor terhadap Suatu Zat

Setiap ada perbedaan suhu antara dua sistem, maka akan terjadi perpindahan kalor. Kalor mengalir dari sistem bersuhu tinggi ke sistem yang bersuhu lebih rendah. Apa sajakah pengaruh kalor terhadap suatu sistem atau benda?

### 1. Kalor dapat Mengubah Suhu Benda

Kalor merupakan salah satu bentuk energi, sehingga dapat berpindah dari satu sistem ke sistem yang lain karena adanya perbedaan suhu. Sebaliknya, setiap ada perbedaan suhu antara dua sistem maka akan terjadi perpindahan kalor. Sebagai contoh, es yang dimasukkan ke dalam gelas berisi air panas, maka es akan mencair dan air menjadi dingin. Karena ada perbedaan suhu antara es dan air maka air panas melepaskan sebagian kalornya sehingga suhunya turun dan es menerima kalor sehingga suhunya naik (mencair).



Gambar 6.15 Diagram perubahan wujud zat yang dipengaruhi kalor.

### 2. Kalor dapat Mengubah Wujud Zat

Kalor yang diberikan pada zat dapat mengubah wujud zat tersebut. Perubahan wujud yang terjadi ditunjukkan oleh Gambar 6.15. Cobalah mengingat kembali pelajaran SMP, dan carilah contoh dalam kehidupan sehari-hari yang menunjukkan perubahan wujud zat karena dipengaruhi kalor.



## D. Kalor sebagai Transfer Energi

Kalor mengalir dengan sendirinya dari suatu benda yang suhunya lebih tinggi ke benda lain dengan suhu yang lebih rendah. Pada abad ke-18 diilustrasikan aliran kalor sebagai gerakan zat fluida yang disebut *kalori*.

Bagaimanapun, fluida kalori tidak pernah dideteksi. Selanjutnya pada abad ke-19, ditemukan berbagai fenomena yang berhubungan dengan kalor, dapat dideskripsikan secara konsisten tanpa perlu menggunakan model fluida. Model yang baru ini memandang kalor berhubungan dengan kerja dan energi. Satuan kalor yang masih umum dipakai sampai saat ini yaitu *kalori*. Satu kalori didefinisikan sebagai kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 gram air sebesar 1°C. Terkadang satuan yang digunakan adalah **kilokalori** (kcal) karena dalam jumlah yang lebih besar, di mana 1 kcal = 1.000 kalori. Satu kilokalori (1 kcal) adalah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 kg air sebesar 1 °C.

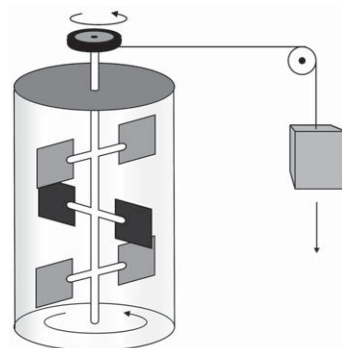
Pendapat bahwa kalor berhubungan dengan energi dikerjakan lebih lanjut oleh sejumlah ilmuwan pada tahun 1800-an, terutama oleh seorang ilmuwan dari Inggris, James Prescott Joule (1818 - 1889). Joule melakukan sejumlah percobaan yang penting untuk menetapkan pandangan bahwa kalor merupakan bentuk transfer energi. Salah satu bentuk percobaan Joule ditunjukkan secara sederhana seperti pada Gambar 6.16. Beban yang jatuh menyebabkan roda pedal berputar. Gesekan antara air dan roda pedal menyebabkan suhu air naik sedikit (yang sebenarnya hampir tidak terukur oleh Joule). Kenaikan suhu yang sama juga bisa diperoleh dengan memanaskan air di atas kompor. Joule menentukan bahwa sejumlah kerja tertentu yang dilakukan selalu ekuivalen dengan sejumlah masukan kalor tertentu. Secara kuantitatif, kerja 4,186 joule (J) ternyata ekuivalen dengan 1 kalori (kal) kalor. Nilai ini dikenal sebagai **tara kalor mekanik**.

$$4,186 \text{ J} = 1 \text{ kal}$$

$$4,186 \times 10^3 \text{ J} = 1 \text{ kkal}$$

## 1. Kalor Jenis ( $c$ ) dan Kapasitas Kalor ( $C$ )

Apabila sejumlah kalor diberikan pada suatu benda, maka suhu benda itu akan naik. Kemudian yang menjadi pertanyaan, seberapa besar kenaikan suhu suatu benda tersebut? Pada abad ke-18, sejumlah ilmuwan melakukan percobaan dan menemukan bahwa besar kalor  $Q$  yang diperlukan untuk mengubah suhu suatu zat yang besarnya  $\Delta T$  sebanding dengan massa  $m$  zat tersebut.



Sumber: *Fisika Jilid 1*, Erlangga, 2001

**Gambar 6.16** Percobaan Joule

**BETA<sup>β</sup>** Berita Fisika

James Joule (1818 - 1889), melakukan percobaan yang membuktikan bahwa apabila suatu bentuk energi diubah menjadi bentuk energi lain tidak ada energi yang musnah.

Pernyataan tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (6.18)$$

dengan:

$Q$  = banyaknya kalor yang diperlukan (J)

$m$  = massa suatu zat yang diberi kalor (kg)

$c$  = kalor jenis zat (J/kg°C)

$\Delta T$  = kenaikan/perubahan suhu zat (°C)

Dari persamaan (6.18) tersebut,  $c$  adalah besaran karakteristik dari zat yang disebut **kalor jenis zat**. Kalor jenis suatu zat dinyatakan dalam satuan J/kg°C (satuan SI yang sesuai) atau kkal/kg°C. Untuk air pada suhu 15 °C dan tekanan tetap 1 atm,  $c_{\text{air}} = 1 \text{ kkal/kg°C} = 4,19 \times 10^3 \text{ J/kg°C}$ .

Tabel 6.2 memperlihatkan besar kalor jenis untuk beberapa zat pada suhu 20 °C. Sampai batas tertentu, nilai kalor jenis ( $c$ ) bergantung pada suhu (sebagaimana bergantung sedikit pada tekanan), tetapi untuk perubahan suhu yang tidak terlalu besar,  $c$  seringkali dianggap konstan.

**Tabel 6.2 Kalor jenis (pada tekanan tetap 1 atm dan suhu 20 °C)**

Zat	Kalor Jenis ( $c$ )	
	kkal/kg°C	J/kg°C
Aluminium	0,22	900
Tembaga	0,093	390
Kaca	0,20	840
Besi atau baja	0,11	450
Timah hitam	0,031	130
Marmer	0,21	860
Perak	0,056	230
Kayu	0,4	1.700
Alkohol (etil)	0,58	2.400
Air raksa	0,033	140
Air		
Es (-5 °C)	0,50	2.100
Cair (15 °C)	1,00	4.186
Uap (110 °C)	0,48	2.010
Tubuh manusia (rata-rata)	0,83	3.470
Protein	0,4	1.700

Untuk suatu zat tertentu, misalnya zatnya berupa bejana kalorimeter ternyata akan lebih memudahkan jika faktor massa ( $m$ ) dan kalor jenis ( $c$ ) dinyatakan sebagai satu kesatuan. Faktor  $m$  dan  $c$  ini biasanya disebut **kapasitas kalor**, yaitu banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu zat sebesar 1°C.

Kapasitas kalor ( $C$ ) dapat dirumuskan:

$$C = m \cdot c \quad \text{atau} \quad C = \frac{Q}{\Delta T} \dots\dots\dots (6.19)$$

Dari persamaan (6.18) dan (6.19), besarnya kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu zat adalah:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = C \cdot \Delta T \dots\dots\dots (6.20)$$

dengan:

- $Q$  = banyaknya kalor yang diperlukan (J)
- $m$  = massa suatu zat yang diberi kalor (kg)
- $c$  = kalor jenis zat (J/kg°C)
- $\Delta T$  = kenaikan/perubahan suhu zat (°C)
- $C$  = kapasitas kalor suatu zat (J/°C)

### Contoh Soal

Air sebanyak 3 kg bersuhu 10 °C dipanaskan hingga bersuhu 35 °C. Jika kalor jenis air 4.186 J/kg°C, tentukan kalor yang diserap air tersebut!

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $m = 3$  kg,  $c = 4.186$  J/kg°C,  $\Delta t = (35 - 10)^\circ\text{C} = 25$  °C

Ditanya:  $Q = \dots ?$

Jawab:

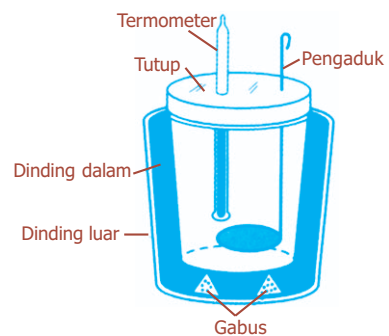
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = 3 \text{ kg} \times 4.186 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times 25 \text{ }^\circ\text{C} = 313.950 \text{ J}$$

### Kegiatan

- Tujuan : Melakukan pengukuran panas jenis dengan menggunakan kalorimeter.
- Alat dan bahan : Kalorimeter lengkap, pemanas dan tungku spiritus, landasan besi, termometer, kaleng pemanas, air, minyak, berbagai zat cair lainnya, berbagai macam logam.

### Cara Kerja:

1. Ambillah tungku pemanas dan nyalakan, lalu letakkan kaleng pemanas yang sebagian berisi air di atas tungku dengan dasar landasan besi sampai air mendidih.
2. Ambillah sebuah logam yang sebelumnya ditimbang massanya  $m_1$ , selanjutnya logam ini ditaruh di bagian atas kaleng pemanas.
3. Timbanglah sejumlah volume air  $m_c$ .
4. Timbanglah massa kalorimeter  $m_k$  beserta logam pengaduknya  $m_p$ .
5. Siapkan kalorimeter dan isilah dengan air yang telah ditimbang tersebut. Ukurlah suhu awal dari air bersama kalorimeter sebagai  $T_1$ .
6. Ukur suhu logam yang masih berada di dalam pemanas sebagai  $T_2$ , selanjutnya ambillah logam tersebut dan masukkan ke dalam kalorimeter yang tersedia.





7. Aduklah kalorimeter berisi logam itu sehingga merata dan ukur suhu akhir sebagai  $T_3$ .
8. Ulangi percobaan dengan menggunakan zat cair lain sebagai pengganti air yang digunakan untuk mengisi kalorimeter.
9. Masukkan data percobaan ke dalam tabel berikut ini.

$m_k$	$m_p$	$m_c$	$T_1$	$m_1$	$T_2$	$T_3$	$C_k$	$C_p$	$C_c$	Ket.

**Diskusi:**

1. Carilah panas jenis logam untuk pengisi cairan adalah air!
2. Carilah panas jenis cairan untuk cairan bukan air!
3. Apa yang dapat disimpulkan dari percobaan tersebut?

## Percikan Fisika



### Kapasitas untuk Mencairkan Es

Gambar di samping menunjukkan penampang sebuah "kalorimeter es" buatan Antoine Lavoisier (1743 – 1794) dan Pierre - Simon Laplace (1749 - 1827). Dengan alat ini dapat diukur jumlah panas yang dilepaskan oleh suatu benda yang dipanaskan yang sedang menjadi dingin. Benda panas diletakkan di wadah, dan es dimasukkan ke sekelilingnya. Ketika es mencair dikarenakan adanya benda panas, suhunya tetap pada suhu titik beku. Suhu benda tadi mendingin sampai serendah suhu es, kemudian es yang sudah mencair dikeluarkan dari kalorimeter melalui bagian bawah alat untuk ditimbang. Beratnya menunjukkan kapasitas panas benda.

## 2. Hukum Kekekalan Energi Kalor (Asas Black)

Apabila dua zat atau lebih mempunyai suhu yang berbeda dan terisolasi dalam suatu sistem, maka kalor akan mengalir dari zat yang suhunya lebih tinggi ke zat yang suhunya lebih rendah. Dalam hal ini, kekekalan energi memainkan peranan penting. Sejumlah kalor yang hilang dari zat yang bersuhu tinggi sama dengan kalor yang didapat oleh zat yang suhunya lebih rendah.

Hal tersebut dapat dinyatakan sebagai *Hukum Kekekalan Energi Kalor*, yang berbunyi:

$$\begin{aligned} \text{Kalor yang dilepas} &= \text{kalor yang diserap} \\ Q_L &= Q_S \end{aligned}$$

Persamaan tersebut berlaku pada pertukaran kalor, yang selanjutnya disebut **Asas Black**. Hal ini sebagai penghargaan bagi seorang ilmuwan dari Inggris bernama Joseph Black (1728 - 1799).

Joseph Black mengira bahwa kapasitas panas merupakan jumlah panas yang dapat ditampung oleh suatu benda. Hal ini sebenarnya merupakan ukuran tentang jumlah tenaga yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu benda dalam jumlah tertentu.

### Contoh Soal

Jika teh 200 cm<sup>3</sup> pada suhu 95 °C dituangkan ke dalam cangkir gelas 150 g pada suhu 25 °C, berapa suhu akhir ( $T$ ) dari campuran ketika dicapai kesetimbangan, dengan menganggap tidak ada kalor yang mengalir ke sekitarnya?

*Penyelesaian:*

Teh sebagian besar berupa air, maka dari Tabel 6.2, memiliki kalor jenis ( $C$ ) 4.186 J/kg°C.

$$V = 200 \text{ cm}^3 = 200 \times 10^{-6} \text{ m}^3,$$

$$\text{massa, } m = \rho \cdot V = (1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(200 \times 10^{-6} \text{ m}^3) = 0,20 \text{ kg}$$

Dengan menerapkan Hukum Kekekalan Energi, maka:

kalor yang hilang dari teh = kalor yang diterima cangkir

$$m_{\text{teh}} \cdot c_{\text{teh}} (95^\circ\text{C} - T) = m_{\text{cangkir}} \cdot c_{\text{cangkir}} (T - 25^\circ\text{C})$$

di mana  $T$  adalah temperatur yang masih belum diketahui.

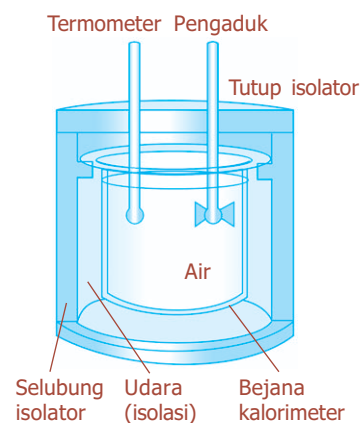
$$(0,20 \text{ kg})(4.186 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(95^\circ\text{C} - T) = (0,15 \text{ kg})(840 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(T - 25^\circ\text{C})$$

$$79.534 \text{ J} - (837,2) T = (126) T - 3.150 \text{ J}$$

$$T = 85^\circ\text{C}$$

Teh berkurang suhunya sebesar 10 °C dalam mencapai kesetimbangan dengan cangkir.

Pertukaran energi kalor merupakan dasar teknik yang dikenal dengan nama **kalorimetri**, yang merupakan pengukuran kuantitatif dari pertukaran kalor. Untuk melakukan pengukuran kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu zat digunakan **kalorimeter**. Gambar 6.17 menunjukkan skema kalorimeter air sederhana. Salah satu kegunaan yang penting dari kalorimeter adalah dalam penentuan kalor jenis suatu zat. Pada teknik yang dikenal sebagai “metode campuran”, satu sampel zat dipanaskan sampai temperatur tinggi yang diukur dengan akurat, dan dengan cepat ditempatkan pada air dingin kalorimeter. Kalor yang hilang pada sampel tersebut akan diterima oleh air dan kalorimeter. Dengan mengukur suhu akhir campuran tersebut, maka dapat dihitung kalor jenis zat tersebut.



**Gambar 6.17** Kalorimeter air sederhana.

### 3. Kalor Laten dan Perubahan Wujud Zat

Ketika suatu zat berubah wujud dari padat ke cair, atau dari cair ke gas, sejumlah energi terlibat pada perubahan wujud zat tersebut. Sebagai contoh, pada tekanan tetap 1 atm sebuah balok es (massa 5 kg) pada suhu  $-40^{\circ}\text{C}$  diberi kalor dengan kecepatan tetap sampai semua es berubah menjadi air, kemudian air (wujud cair) dipanaskan sampai suhu  $100^{\circ}\text{C}$  dan diubah menjadi uap di atas suhu  $100^{\circ}\text{C}$ .



**Gambar 6.18** Grafik hubungan antara suhu dan kalor yang ditambahkan pada air.

Gambar 6.18 menunjukkan grafik sejumlah kalor ditambahkan ke es, suhunya naik dengan kecepatan  $2^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$  dari kalor yang ditambahkan, karena  $c_{\text{es}} = 0,50 \text{ kkal}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ . Ketika suhu  $0^{\circ}\text{C}$  dicapai ternyata suhu berhenti naik walaupun kalor tetap ditambahkan. Akan tetapi, es secara perlahan-lahan berubah menjadi air dalam keadaan cair tanpa perubahan suhu. Setelah kalor sejumlah 40 kkal telah ditambahkan pada  $0^{\circ}\text{C}$ , ternyata

setengah dari es tetap dan setengahnya telah berubah menjadi air. Kemudian setelah kira-kira 80 kkal (330 J) kalor ditambahkan, semua es telah berubah menjadi air, masih pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$ . Penambahan kalor selanjutnya menyebabkan suhu air naik kembali, dengan kecepatan sebesar  $1^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$ . Ketika  $100^{\circ}\text{C}$  telah dicapai, suhu kembali konstan sementara kalor yang ditambahkan mengubah air (cair) menjadi uap. Kalor sekitar 540 kkal (2.260 kJ) dibutuhkan untuk mengubah 1 kg air menjadi uap seluruhnya. Setelah itu, kurva naik kembali yang menandakan suhu uap naik selama kalor ditambahkan.

Kalor yang diperlukan untuk mengubah 1 kg zat dari padat menjadi cair disebut **kalor lebur**,  $L_{\text{B}}$ . Kalor lebur air dalam SI adalah sebesar  $333 \text{ kJ}/\text{kg}$  ( $3,33 \times 10^5 \text{ J}/\text{kg}$ ), nilai ini setara dengan  $79,7 \text{ kkal}/\text{kg}$ . Sementara itu, kalor yang dibutuhkan untuk mengubah suatu zat dari wujud cair menjadi uap disebut **kalor penguapan**, dengan simbol  $L_{\text{U}}$ . Kalor penguapan air dalam satuan SI adalah  $2.260 \text{ kJ}/\text{kg}$  ( $2,26 \times 10^6 \text{ J}/\text{kg}$ ), nilai ini sama dengan  $539 \text{ kkal}/\text{kg}$ . Kalor yang diberikan ke suatu zat untuk peleburan atau penguapan disebut **kalor laten**.

**BETA<sup>®</sup>** Berita Fisika

Joseph Black (1728 -1798) mengukur panas yang dibutuhkan untuk mengubah padatan menjadi cairan, atau cairan menjadi gas. Dia menamakan panas ini laten atau tersembunyi.

Untuk zat yang lainnya, grafik hubungan suhu sebagai fungsi kalor yang ditambahkan hampir sama dengan Gambar 6.18, tetapi suhu titik-lebur dan titik-didih berbeda. Besar kalor lebur dan kalor penguapan untuk berbagai zat tampak seperti pada Tabel 6.3.

**Tabel 6.3 Kalor laten (pada 1 atm)**

Zat	Titik Lebur (°C)	Kalor Lebur		Titik Didih (°C)	Kalor Penguapan	
		kcal/kg	J/kg		kcal/kg	J/kg
Oksigen	-218,8	3,3	$0,14 \times 10^{-5}$	-183	51	$2,1 \times 10^5$
Nitrogen	-210,0	6,1	$0,26 \times 10^{-5}$	-195,8	48	$2,0 \times 10^5$
Etil alkohol	-114	25	$1,04 \times 10^{-5}$	78	204	$8,5 \times 10^5$
Amonia	-77,8	8,0	$0,33 \times 10^{-5}$	-33,4	33	$1,37 \times 10^5$
Air	0	79,7	$3,33 \times 10^{-5}$	100	539	$22,6 \times 10^5$
Timah hitam	327	5,9	$0,25 \times 10^{-5}$	1.750	208	$8,7 \times 10^5$
Perak	961	21	$0,88 \times 10^{-5}$	2.193	558	$23 \times 10^5$
Besi	1.808	69,1	$2,89 \times 10^{-5}$	3.023	1520	$63,4 \times 10^5$
Tungsten	3.410	44	$1,84 \times 10^{-5}$	5.900	1150	$48 \times 10^5$

Catatan: nilai numerik 1 kkal/kg = 1 kal/g

Kalor lebur dan kalor penguapan suatu zat juga mengacu pada jumlah kalor yang dilepaskan oleh zat tersebut ketika berubah dari cair ke padat, atau dari gas ke uap air. Dengan demikian, air mengeluarkan 333 kJ/kg ketika menjadi es, dan mengeluarkan 2.260 kJ/kg ketika berubah menjadi air.

Tentu saja, kalor yang terlibat dalam perubahan wujud tidak hanya bergantung pada kalor laten, tetapi juga pada massa total zat tersebut, dirumuskan:

$$Q = m.L \dots\dots\dots (6.21)$$

dengan:

$Q$  = kalor yang diperlukan atau dilepaskan selama perubahan wujud (J)

$m$  = massa zat (kg)

$L$  = kalor laten (J/kg)

#### Contoh Soal

Es sebanyak 3 kg pada suhu 0 °C dibiarkan pada suhu ruang hingga seluruhnya mencair. Berapakah kalor yang diperlukan untuk mencairkan es tersebut? (kalor lebur air =  $3,33 \times 10^{-5}$  J/kg)

*Penyelesaian:*

Diketahui:  $m = 3$  kg

$L = 3,33 \times 10^{-5}$  J/kg

Ditanya:  $Q = \dots ?$

Jawab:

$$Q = m.L = (3 \text{ kg})(3,33 \times 10^{-5} \text{ J/kg}) = 9,99 \times 10^{-5} \text{ J} \approx 10^{-4} \text{ J}$$

#### Uji Kemampuan 6.4

1. Es sebanyak 2 kg bersuhu  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  berubah menjadi air bersuhu  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Diketahui kalor jenis es  $2.100\text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ , kalor jenis air  $4.186\text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$  dan kalor leburnya  $333\text{ kJ/kg}$ . Berapakah kalor yang dibutuhkan oleh es untuk berubah menjadi air?
2. Es sebanyak 500 gram bersuhu  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  dimasukkan ke dalam wadah berisi 750 gram air bersuhu  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada tekanan 1 atm, sehingga terjadi pertukaran kalor antara keduanya. Hitunglah suhu setimbangnya jika diketahui kalor jenis es  $2.100\text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ , kalor jenis air  $4.186\text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ , dan kalor leburnya  $333 \times 10^3\text{ J/kg}$ !



### E. Perpindahan Kalor

Kalor berpindah dari satu tempat atau benda ke tempat atau benda lainnya dengan tiga cara, yaitu konduksi (hantaran), konveksi (aliran), dan radiasi (pancaran).

#### 1. Konduksi (Hantaran)

Ketika sebuah batang logam dipanaskan pada salah satu ujungnya, atau sebuah sendok logam diletakkan di dalam secangkir kopi yang panas, beberapa saat kemudian, ujung yang kita pegang akan segera menjadi panas walaupun tidak bersentuhan langsung dengan sumber panas. Dalam hal ini kita katakan bahwa kalor dihantarkan dari ujung yang panas ke ujung lain yang lebih dingin.

Konduksi atau hantaran kalor pada banyak materi dapat digambarkan sebagai hasil tumbukan molekul-molekul. Sementara satu ujung benda dipanaskan, molekul-molekul di tempat itu bergerak lebih cepat. Sementara itu, tumbukan dengan molekul-molekul yang langsung berdekatan lebih lambat, mereka mentransfer sebagian energi ke molekul-molekul lain, yang lajunya kemudian bertambah. Molekul-molekul ini kemudian juga mentransfer sebagian energi mereka dengan molekul-molekul lain sepanjang benda tersebut. Dengan demikian, energi gerak termal ditransfer oleh tumbukan molekul sepanjang benda. Hal inilah yang mengakibatkan terjadinya konduksi.

Konduksi atau hantaran kalor hanya terjadi bila ada perbedaan suhu. Berdasarkan eksperimen, menunjukkan bahwa kecepatan hantaran kalor melalui benda yang sebanding dengan perbedaan suhu antara ujung-ujungnya.



Sumber: Dokumen Penerbit, 2006

**Gambar 6.19** Sendok logam di dalam secangkir kopi panas akan ikut panas.

Kecepatan hantaran kalor juga bergantung pada ukuran dan bentuk benda. Untuk mengetahui secara kuantitatif, perhatikan hantaran kalor melalui sebuah benda uniform tampak seperti pada Gambar 6.20.

Besarnya kalor  $Q$  tiap selang waktu tertentu dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{Q}{\Delta t} = k.A \frac{T_1 - T_2}{l} \text{ atau } \frac{Q}{\Delta t} = \frac{k.A.\Delta T}{l} \dots\dots\dots (6.22)$$

dengan:

$Q$  = kalor yang dihantarkan (J)

$A$  = luas penampang lintang benda ( $m^2$ )

$\Delta T = T_1 - T_2$  = beda suhu antara kedua ujung benda ( $^{\circ}C$ )

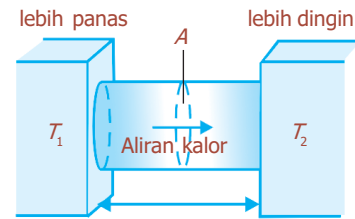
$l$  = jarak antara kedua bagian benda yang berbeda suhunya (m)

$\Delta t$  = selang waktu yang diperlukan (s)

$k$  = konstanta pembanding/konduktivitas termal zat ( $J/s.m.^{\circ}C$ )

Konduktivitas termal ( $k$ ) berbagai zat ditunjukkan seperti pada Tabel 6.4. Suatu zat yang memiliki konduktivitas termal ( $k$ ) besar, menghantarkan kalor dengan cepat dan dinamakan **konduktor** yang baik. Umumnya logam masuk dalam kategori ini, walaupun ada variasi yang besar antara logam-logam tersebut seperti diperlihatkan pada Tabel 6.4.

Suatu zat yang memiliki konduktivitas termal ( $k$ ) kecil, seperti fiberglass, polyurethane, dan bulu merupakan penghantar kalor yang buruk yang disebut **isolator**.



**Gambar 6.20** Konduksi atau hantaran kalor antara daerah dengan temperatur  $T_1$  dan  $T_2$ .



Sumber: Dokumen Penerbit, 2006

**Gambar 6.21** Peralatan masak memanfaatkan isolator untuk pegangannya.

**Tabel 6.4 Konduktivitas termal ( $k$ ) berbagai zat**

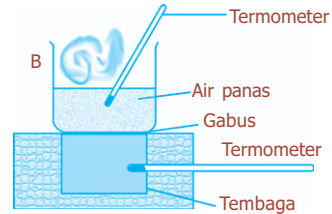
Zat	Konduktivitas Termal, $k$	
	kcal/s.m. $^{\circ}C$	J/s.m. $^{\circ}C$
Perak	$10 \times 10^{-2}$	420
Tembaga	$9,2 \times 10^{-2}$	380
Aluminium	$5,0 \times 10^{-2}$	200
Baja	$1,1 \times 10^{-2}$	40
Es	$5 \times 10^{-4}$	2
Gelas (biasa)	$2,0 \times 10^{-4}$	0,84
Batu bata dan beton	$2,0 \times 10^{-4}$	0,84
Air	$1,4 \times 10^{-4}$	0,56
Jaringan tubuh manusia (tidak termasuk darah)	$0,5 \times 10^{-4}$	0,2
Kayu	$0,2 - 0,4 \times 10^{-4}$	0,08-0,16
Isolator fiberglass	$0,12 \times 10^{-4}$	0,048
Gabus dan serat kaca	$0,1 \times 10^{-4}$	0,042
Bulu angsa	$0,06 \times 10^{-4}$	0,025
Busa polyurethane	$0,06 \times 10^{-4}$	0,024
Udara	$0,055 \times 10^{-4}$	0,023

## Kegiatan

- Tujuan : Mempelajari konsep daya hantar panas, mengukur daya hantar panas dari bahan yang mempunyai daya hantar panas rendah.
- Alat dan bahan : Satu gabus, satu penerima panas dari tembaga, satu termometer, satu batang logam, satu bejana logam, satu heater, satu jangka sorong.

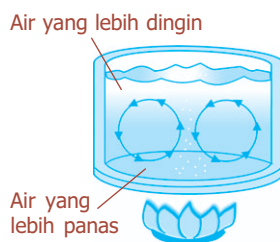
### Cara Kerja:

1. Ukur tebal lembaran zat, diameter penerima panas, dan massa penerima panas.
2. Didihkan air dalam bejana, kemudian susun alat seperti terlihat pada gambar.
3. Catat suhu penerima panas dari Cu ( $T_2$ ) hingga penunjukkan termometer pada Cu tidak naik lagi selama 5 menit (suhu setimbang,  $T_s$ ).
4. Lepaskan lembaran zat, sehingga Cu mendapat pemanasan langsung hingga suhu menunjukkan 5 °C di atas suhu setimbang ( $T_2 > T_s$ ).
5. Pindahkan bejana pemanas dan lembaran zat diletakkan kembali di atas penerima panas.
6. Catat penurunan suhu setiap 30 detik dari yang diperlukan penerima panas dari 5 °C di atas  $T_s$  sampai 5 °C di bawah  $T_s$  setiap 30 detik.



### Diskusi:

1. Buatlah grafik perubahan suhu terhadap waktu ( $T$  vs  $t$ ) dari penerima panas dan tentukan gradien  $(dT/dt)_s$  pada titik setimbang dengan menarik garis sesuai gradien!
2. Hitunglah harga  $k$ , bandingkan dengan nilai literatur!
3. Bagaimana jika penerima panas tembaga dilapisi dengan nikel?
4. Buatlah analisis dan beri kesimpulan dari hasil percobaan ini!



**Gambar 6.22** Arus konveksi pada air yang dipanaskan.

## 2. Konveksi (Aliran)

Zat cair dan gas umumnya bukan penghantar kalor yang sangat baik. Meskipun demikian keduanya dapat mentransfer kalor cukup cepat dengan **konveksi**. Konveksi atau aliran kalor adalah proses di mana kalor ditransfer dengan pergerakan molekul dari satu tempat ke tempat yang lain. Bila pada konduksi melibatkan molekul (atau elektron) yang hanya bergerak dalam jarak yang kecil dan bertumbukan, konveksi melibatkan pergerakan molekul dalam jarak yang besar.

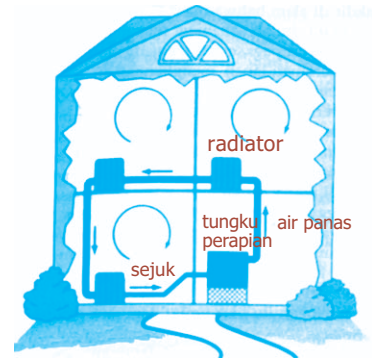
Tungku dengan udara yang dipanaskan dan kemudian ditiup oleh kipas angin ke dalam ruangan termasuk contoh *konveksi yang dipaksakan*. *Konveksi alami* juga terjadi, misalnya udara panas akan naik, arus samudra yang hangat atau dingin, angin, dan sebagainya. Gambar 6.22 menunjukkan bahwa sejumlah air di dalam panci yang dipanaskan, arus konveksi terjadi karena perbedaan kalor.



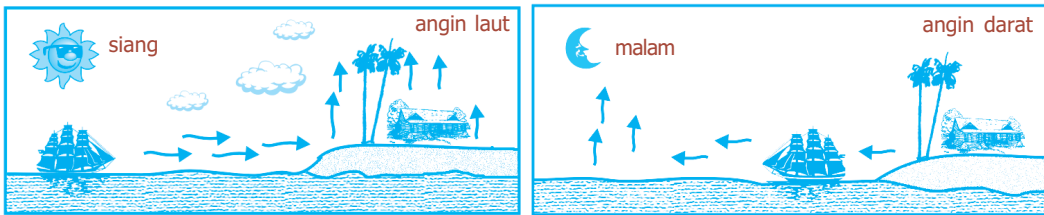
Air di bagian bawah naik karena massa jenisnya berkurang dan digantikan oleh air yang lebih dingin di atasnya.

Prinsip selaput digunakan pada banyak sistem pemanas, seperti sistem radiator air panas yang diilustrasikan pada Gambar 6.23. Air yang dipanaskan di tungku hingga suhunya naik, akan memuai dan naik. Hal ini menyebabkan air berputar pada sistem. Air panas kemudian memasuki radiator, kalor ditransfer dengan konduksi ke udara, dan air yang didinginkan kembali ke tungku. Dengan demikian, air berputar karena konveksi.

Konveksi dalam kehidupan sehari-hari dapat kita lihat pada peristiwa terjadinya angin darat dan angin laut. Pada siang hari, daratan lebih cepat panas daripada laut, sehingga udara di atas daratan naik dan udara sejuk di atas laut bergerak ke daratan. Hal ini karena tekanan udara di atas permukaan laut lebih besar, sehingga *angin laut* bertiup dari permukaan laut ke daratan. Sebaliknya, pada malam hari daratan lebih cepat dingin daripada laut, sehingga udara bergerak dari daratan ke laut, disebut *angin darat*.



**Gambar 6.23** Prinsip konveksi pada sistem pemanas.



**Gambar 6.24** Terjadinya angin darat dan angin laut.

### 3. Radiasi (Pancaran)

Perpindahan kalor secara konduksi dan konveksi memerlukan adanya materi sebagai medium untuk membawa kalor dari daerah yang lebih panas ke daerah yang lebih dingin. Akan tetapi, perpindahan kalor secara radiasi (pancaran) terjadi tanpa medium apapun.

Semua kehidupan di dunia ini bergantung pada transfer energi dari Matahari, dan energi ini ditransfer ke Bumi melalui ruang hampa (hampa udara). Bentuk transfer energi ini dalam bentuk kalor yang dinamakan *radiasi*, karena suhu Matahari jauh lebih besar (6.000 K) daripada suhu permukaan bumi.

Radiasi pada dasarnya terdiri dari gelombang elektromagnetik. Radiasi dari Matahari terdiri dari cahaya tampak ditambah panjang gelombang lainnya yang tidak bisa dilihat oleh mata, termasuk radiasi inframerah (IR) yang berperan dalam menghangatkan Bumi.



Sumber: *Encarta Encyclopedia*, 2006

**Gambar 6.25** Sinar Matahari sampai ke Bumi merupakan perpindahan kalor secara radiasi.



**Komet**  
Kolom mengingat

Perpindahan kalor tanpa medium perantara disebut radiasi.  
Perpindahan kalor dengan medium perantara:

- konduksi: medium perantara tidak ikut berpindah.
- konveksi: medium perantara ikut berpindah.



Sumber: CD ClipArt

**Gambar 6.26** Pakaian hitam menyerap kalor hampir seluruhnya.

**BETA<sup>®</sup>** Berita Fisika

Pada malam hari pantulan cahaya matahari mengakibatkan Bulan dan planet bersinar di langit.

Kecepatan atau laju radiasi kalor dari sebuah benda sebanding dengan pangkat empat suhu mutlak ( $\mu \propto T^4$ ) benda tersebut. Sebagai contoh, sebuah benda pada suhu 2.000 K, jika dibandingkan dengan benda lain pada suhu 1.000 K, akan meradiasikan kalor dengan kecepatan 16 ( $2^4$ ) kali lipat lebih besar. Kecepatan radiasi juga sebanding dengan luas  $A$  dari benda yang memancarkan kalor. Dengan demikian, kecepatan radiasi kalor meninggalkan sumber tiap selang waktu tertentu ( $Q/\Delta t$ ) dirumuskan:

$$\frac{Q}{\Delta t} = e \sigma A T^4 \dots\dots\dots (6.23)$$

Persamaan (6.23) disebut *persamaan Stefan-Boltzmann*, dan  $\sigma$  adalah konstanta universal yang disebut *konstanta Stefan-Boltzmann* ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ). Faktor  $e$  disebut **emisivitas** bahan, merupakan bilangan antara 0 sampai 1 yang bergantung pada karakteristik materi. Permukaan yang sangat hitam, seperti arang mempunyai emisivitas yang mendekati 1, sedangkan bahan yang permukaannya mengkilat mempunyai  $e$  yang mendekati nol sehingga memancarkan radiasi yang lebih kecil.

Permukaan mengkilat tidak hanya memancarkan radiasi yang lebih kecil, tetapi bahan tersebut juga hanya menyerap sedikit dari radiasi yang menimpanya (sebagian besar dipantulkan). Benda hitam dan yang sangat gelap, menyerap kalor hampir seluruh radiasi yang menimpanya. Dengan demikian, bahan penyerap kalor yang baik juga merupakan pemancar kalor yang baik.

Benda apapun tidak hanya memancarkan kalor dengan radiasi, tetapi juga menyerap kalor yang di-radiasikan oleh benda lain. Sebuah benda dengan emisivitas  $e$  dan luas  $A$  berada pada suhu  $T_1$ , benda ini meradiasikan kalor dengan laju  $\frac{Q}{\Delta t} = e \sigma A T_1^4$ . Jika benda dikelilingi lingkungan dengan suhu  $T_2$  dan emisivitasnya tinggi ( $e \approx 1$ ), kecepatan radiasi kalor oleh sekitarnya sebanding dengan  $T_2^4$ , dan kecepatan kalor yang diserap oleh benda sebanding dengan  $T_2^4$ . Kecepatan total pancaran kalor dari benda ke lingkungan tersebut dirumuskan:

$$\frac{Q}{\Delta t} = e \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots (6.24)$$

dengan:

- $Q$  = kalor yang dipancarkan benda (J)
- $e$  = emisivitas bahan/benda
- $\sigma$  = konstanta Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )
- $A$  = luas penampang benda ( $\text{m}^2$ )

$T_1$  = suhu mutlak benda (K)  
 $T_2$  = suhu mutlak lingkungan (K)  
 $\Delta t$  = selang waktu yang diperlukan (s)

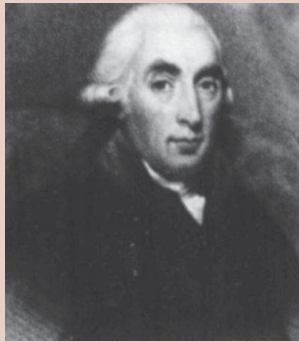
Berdasarkan persamaan (6.24) dapat dikatakan bahwa kecepatan penyerapan kalor oleh sebuah benda dianggap sebesar  $e\sigma AT_2^4$ ; yaitu, konstanta pembanding sama untuk pemancaran dan penyerapan. Hal ini berhubungan dengan fakta eksperimen bahwa kesetimbangan antara benda dan sekelilingnya dicapai ketika keduanya mempunyai suhu yang sama. Dalam hal ini,  $Q/\Delta t$  harus sama dengan nol ketika  $T_1 = T_2$ , sehingga koefisien pemancaran dan penyerapan harus sama. Hal ini menguatkan pernyataan bahwa pemancar yang baik merupakan penyerap yang baik.

**Komet**  
Kolom mengingat

Energi yang dipancarkan atau diserap juga dipengaruhi sifat permukaan (benda gelap menyerap dan memancarkan lebih dari yang mengkilat) dikarakterisasikan oleh emisivitas  $e$ .

## Fiesta

*Fisikawan Kita*



### Joseph Black (1728 - 1799)

Joseph Black mengukur panas yang dibutuhkan pada perubahan zat, yang disebut kalor laten (tersembunyi). Pada mulanya dia mengira bahwa kapasitas panas merupakan jumlah panas yang dapat ditampung oleh suatu benda. Hal ini sebenarnya merupakan ukuran tentang jumlah tenaga yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu benda dalam jumlah tertentu. Untuk menaikkan suhu 1 kg air sebesar 1 °C dibutuhkan lebih banyak panas daripada untuk menaikkan suhu 1 kg air sebesar 1 °C dengan kenaikan suhu yang sama. Ia juga merumuskan Hukum Kekekalan Energi Kalor, yang dikenal sebagai Asas Black.

## Kilas Balik

- \* Suhu adalah ukuran mengenai panas atau dinginnya suatu zat atau benda.
- \* Pemuaian adalah bertambah besarnya ukuran suatu benda karena kenaikan suhu yang terjadi pada benda tersebut.
- \* Hukum Charles berbunyi: “volume gas pada tekanan konstan berbanding lurus dengan suhu mutlak gas tersebut”.
- \* Hukum Gay Lussac berbunyi: “volume gas dengan jumlah tertentu berbanding lurus dengan suhu mutlak ketika tekanan dijaga konstan”.
- \* Pengaruh kalor terhadap suatu zat adalah mengubah suhu dan wujud zat tersebut.
- \* Hukum Kekekalan Energi berbunyi “kalor yang dilepas sama dengan kalor yang diterima”, yang dikenal sebagai Asas Black.
- \* Kalor berpindah dari satu benda ke benda yang lain dengan tiga cara yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

## Uji Kompetensi

### A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Suhu suatu zat bila diukur dengan termometer Fahrenheit menunjukkan angka  $62^{\circ}\text{F}$ . Bila suhu benda tersebut diukur dengan termometer Celsius menunjukkan angka ...  
a.  $16,7^{\circ}\text{C}$   
b.  $22,2^{\circ}\text{C}$   
c.  $34,2^{\circ}\text{C}$   
d.  $52,2^{\circ}\text{C}$   
e.  $54,0^{\circ}\text{C}$
2. Pada sebuah termometer skala X, titik beku air adalah  $10^{\circ}\text{X}$  dan titik didih air adalah  $70^{\circ}\text{X}$ . Bila suhu suatu zat diukur dengan termometer skala X adalah  $25^{\circ}\text{X}$ , maka bila diukur dengan termometer Celsius menunjukkan angka ...  
a.  $15^{\circ}\text{C}$   
b.  $18^{\circ}\text{C}$   
c.  $20^{\circ}\text{C}$   
d.  $24^{\circ}\text{C}$   
e.  $25^{\circ}\text{C}$
3. Jika 75 gram air yang suhunya  $0^{\circ}\text{C}$  dicampur dengan 25 gram air yang suhunya  $100^{\circ}\text{C}$ , maka suhu akhir campurannya adalah ...  
a.  $15^{\circ}\text{C}$   
b.  $20^{\circ}\text{C}$   
c.  $25^{\circ}\text{C}$   
d.  $30^{\circ}\text{C}$   
e.  $35^{\circ}\text{C}$
4. Sebuah balok aluminium memiliki volume  $1.000\text{ cm}^3$  pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$ , dan volume  $1.006\text{ cm}^3$  pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$ . Koefisien muai panjang tembaga tersebut adalah ...  
a.  $2,5 \times 10^{-5} /^{\circ}\text{C}$   
b.  $6,0 \times 10^{-5} /^{\circ}\text{C}$   
c.  $7,5 \times 10^{-5} /^{\circ}\text{C}$   
d.  $2,25 \times 10^{-4} /^{\circ}\text{C}$   
e.  $3,00 \times 10^{-4} /^{\circ}\text{C}$
5. Dalam ruang tertutup berisi sejumlah gas yang dipanaskan pada proses isotermis, ternyata volume gas diperkecil menjadi  $\frac{1}{4}$  kali semula. Maka tekanan gas menjadi ...  
a. tetap  
b.  $\frac{1}{8}$  kali semula  
c.  $\frac{1}{4}$  kali semula  
d. 4 kali semula  
e. 8 kali semula
6. Sejumlah gas berada di dalam ruang tertutup dengan volume 5 liter, tekanan  $a$  atm, dan suhu  $87^{\circ}\text{C}$ . Bila volume gas dijadikan setengahnya dan suhu diturunkan menjadi  $27^{\circ}\text{C}$ , maka tekanan gas menjadi ...  
a.  $\frac{3}{5}$  kali semula  
b.  $\frac{2}{3}$  kali semula  
c.  $\frac{3}{4}$  kali semula  
d.  $\frac{3}{2}$  kali semula  
e.  $\frac{5}{3}$  kali semula

7. Sebuah benda massanya 100 gram dan suhunya  $30^{\circ}\text{C}$  didinginkan hingga suhunya menjadi  $0^{\circ}\text{C}$ . Jika kalor jenis benda itu  $2.100 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ , maka kalor yang dilepaskan benda itu sebesar ... .
  - a. 6,3 kJ
  - b. 6,3 kkal
  - c. 63 kJ
  - d. 63 kkal
  - e. 630 kJ
8. Balok es yang massanya 100 gram dan bersuhu  $-5^{\circ}\text{C}$  dicampur dengan 100 gram air bersuhu  $50^{\circ}\text{C}$ . Bila kalor jenis es  $0,5 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$  dan kalor jenis air  $1 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$ , maka setelah terjadi kesetimbangan termal, suhu campurannya adalah ... .
  - a.  $-10^{\circ}\text{C}$
  - b.  $0^{\circ}\text{C}$
  - c.  $5^{\circ}\text{C}$
  - d.  $10^{\circ}\text{C}$
  - e.  $20^{\circ}\text{C}$
9. Dua batang logam sejenis A dan B memiliki perbandingan luas penampang lintang  $2 : 1$ , sedangkan panjang  $4 : 3$ . Bila beda suhu antara kedua ujungnya sama, maka perbandingan laju hantaran kalor pada A dan B adalah ... .
  - a.  $2 : 3$
  - b.  $3 : 2$
  - c.  $3 : 8$
  - d.  $8 : 3$
  - e.  $1 : 1$
10. Perbandingan laju kalor yang dipancarkan oleh sebuah benda hitam bersuhu  $2.000 \text{ K}$  dan  $4.000 \text{ K}$  adalah ... .
  - a.  $1 : 1$
  - b.  $1 : 2$
  - c.  $1 : 4$
  - d.  $1 : 8$
  - e.  $1 : 18$

**B. Jawablah dengan singkat dan benar!**

1. Sebidang kaca jendela pada malam hari bersuhu  $20^{\circ}\text{C}$  memiliki luas  $4.000 \text{ cm}^2$ . Ternyata pada siang hari bidang kaca tersebut bertambah luas sebesar  $64 \text{ mm}^2$ . Jika koefisien muai panjang kaca  $8 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ , berapa suhu kaca pada siang hari?
2. Gas dalam ruang tertutup memiliki suhu  $42^{\circ}\text{C}$ , tekanan  $7 \text{ atm}$ , dan volume  $8 \text{ liter}$ . Bila gas dipanasi sampai suhu  $87^{\circ}\text{C}$  dan tekanan  $8 \text{ atm}$ , berapa volume gas sekarang?
3. Suatu zat memiliki kapasitas kalor  $5 \text{ kal/}^{\circ}\text{C}$ . Jika zat tersebut diberi kalor  $50 \text{ kkal}$  ternyata suhunya naik sebesar  $10^{\circ}\text{C}$ . Berapa massa zat itu?
4. Balok es yang massanya  $50 \text{ g}$  dan bersuhu  $-5^{\circ}\text{C}$  dimasukkan ke dalam bejana yang berisi  $100 \text{ g}$  air bersuhu  $80^{\circ}\text{C}$ . Bila kalor lebur es  $80 \text{ kal/}^{\circ}\text{C}$ , kalor jenis es  $0,5 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$ , kalor jenis air  $1 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$ , dan kapasitas kalor bejana  $20 \text{ kal/}^{\circ}\text{C}$ , berapa suhu akhir campuran setelah terjadi kesetimbangan?
5. Sebuah lampu pijar menggunakan kawat wolfram dengan luas  $10^{-6} \text{ m}^2$  dan emisivitasnya  $0,5$ . Bila bola lampu tersebut berpijar pada suhu  $1.000 \text{ K}$  selama  $5 \text{ sekon}$  ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ), hitunglah jumlah energi radiasi yang dipancarkan!

## INDEKS

### A

akomodasi 110, 113, 114,  
116, 117, 118, 119, 120,  
122, 129, 130, 131  
Albert Einstein 50  
ampere 5, 8, 18, 25, 162,  
164, 165, 166, 174, 179,  
180, 181, 182, 185, 188  
amperemeter 18, 162, 164,  
165, 179, 180, 181, 182,  
185  
amplitudo 190, 196, 197  
Andre Marie Ampere 25, 165  
anomali 141  
arus listrik 8, 18, 25, 64, 162,  
164, 165, 166, 167, 169,  
170, 171, 178, 179, 180,  
182, 183, 185, 188, 198  
astigmatisme 110, 114, 115

### B

beda potensial 162, 164, 165,  
166, 167, 169, 170, 173,  
174, 175, 178, 179, 180,  
182, 183, 184  
besaran pokok 4, 5, 10, 12,  
14, 25  
besaran turunan 4, 10, 12,  
13, 14, 25, 26  
besaran vektor 19, 33, 38

### C

cahaya 2, 6, 8, 9, 26, 50,  
112, 113, 115, 119, 122,  
123, 124, 125, 126, 128,  
129, 134, 135, 157, 159,  
169, 186, 190, 191, 192,  
193, 194, 198, 199, 200  
cermin cekung 122

### D

daya 7, 50, 81, 112, 113,  
114, 116, 122, 156, 162,  
164, 169, 170, 171, 172,  
178, 184, 195

diafragma 112, 125, 126  
dinamika 30, 72, 74, 93, 99

### E

energi 30, 112, 132, 133,  
137, 146, 147, 150, 151,  
152, 154, 157, 158, 159,  
161, 162, 164, 168, 169,  
170, 173, 175, 178, 184,  
186, 189, 190, 193, 194,  
195, 200  
energi dalam 194

### F

Faraday 188  
fokus 112, 113, 114, 115,  
116, 117, 118, 119, 120,  
121, 122, 123, 124, 125,  
126, 127, 128, 129, 130,  
131  
frekuensi 56, 58, 59, 60, 61,  
67, 68, 69, 71, 171, 191,  
192, 196, 197, 198,  
199, 200

### G

Galileo Galilei 69, 75  
galvanometer 179, 180, 181  
gelombang elektromagnetik  
157, 186, 187, 188, 189,  
190, 191, 192, 193, 194,  
195, 198, 199, 200  
George Simon Ohm 166, 183  
gravitasi 46, 47, 48, 49, 50,  
55, 65, 69, 74, 81, 82,  
83, 84, 86, 88, 90, 91,  
93, 94, 95, 96, 97, 98, 99  
Guglielmo Marconi 195

### H

hambatan jenis 162, 166,  
167, 168, 183, 185  
Heinrich Hertz 190, 198

Hukum I Newton 72, 74, 75,  
76, 77, 98  
Hukum II Newton 72, 74,  
76, 78, 80, 81, 82, 83,  
89, 90, 91, 93, 94, 95,  
96, 98  
Hukum III Newton 72, 74, 80,  
81, 83, 98  
Hukum Ohm 162, 166, 169,  
171, 173, 180, 183

### I

Isaac Newton 76, 199  
isolator 141, 151, 155, 189

### J

Joseph Black 150, 151, 152,  
158

### K

kalor laten 132, 152, 153,  
158  
kalorimetri 151  
kamera 110, 112, 124, 125,  
126, 127, 128, 129, 131  
kapasitas kalor 132, 147, 148,  
149, 161  
kecepatan 28, 30, 32, 33, 34,  
35, 36, 37, 38, 39, 40, 41,  
42, 43, 44, 46, 47, 48, 49,  
50, 51, 52, 53, 54, 55,  
56, 58, 59, 60, 61, 62,  
63, 64, 65, 66, 67, 68, 69,  
70, 71, 113, 126, 143,  
152, 154, 155, 158, 159,  
169, 178, 189, 190, 191,  
198  
kinematika 30  
konduksi 132, 134, 154, 156,  
157, 159  
konduktor 155, 164, 165,  
183, 188  
konveksi 132, 134, 154, 156,  
157, 159

## L

lensa 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131  
lensa cekung 114, 124  
lensa cembung 114, 121  
lensa objektif 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 129, 130, 131  
lensa okuler 118, 119, 120, 121, 122, 129  
lup 110, 115, 116, 117, 129

## M

mata 31, 50, 64, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 128, 129, 130, 131, 156, 157, 159, 187, 191, 192, 193  
Maxwell 186, 188, 189, 190, 198, 199  
medan listrik 121, 165, 175, 186, 188, 189, 190, 191, 194, 198, 199, 200  
medan magnet 186, 188, 189, 190, 191, 198, 199  
mikroskop 110, 112, 118, 119, 120, 121, 129, 130, 131

## N

Newton 50, 69, 122, 199

## O

Oersted 188

## P

paralel 62, 113, 114, 120, 124  
pemuaian 132, 134, 137, 139, 140, 141, 142, 144, 159  
percepatan 28, 30, 37, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 55, 58, 61, 62, 63, 68, 69, 70, 71, 190, 191, 198  
periode 56, 58, 59, 60, 61, 63, 68  
presbiopi 110, 114

## R

rabun dekat 110, 114, 115  
rabun jauh 110, 114, 115  
radiasi 132, 134, 154, 156, 157, 158, 159, 161, 190, 191, 193, 194, 199  
rotasi 30, 59, 60, 61, 64, 67

## S

seri 31, 33, 38, 46, 50, 58, 68, 111, 113, 124, 128, 135, 147, 148, 187  
skala Celsius 135, 136, 143  
shutter 125, 126, 128  
skala Fahrenheit 135, 136  
skala Kelvin 136, 143  
spektrum elektromagnetik 186, 191  
suhu mutlak 8, 143, 144

## T

teleskop 111, 112, 120, 121, 122, 123, 124, 127, 129  
teropong 110, 120, 121, 123, 124, 125, 129, 130, 131  
titik dekat 113, 114, 116, 117, 118, 119, 120, 130, 131  
titik didih 18, 135, 143, 160  
titik jauh 113, 114, 130, 131  
translasi 30, 84

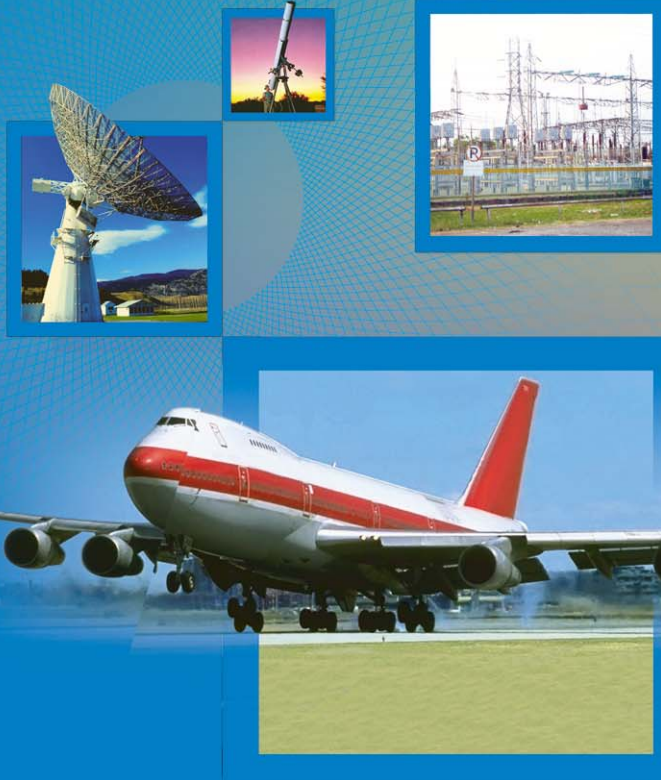
## V

voltmeter 162, 179, 180, 181, 185

## W

William Fox Talbot 128





**ISBN 978-979-068-166-8 (no. jld.lengkap)**  
**ISBN 978-979-068-169-9**

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007 Tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran Yang Memenuhi Syarat Kelayakan Untuk Digunakan Dalam Proses Pembelajaran.

**HARGA ECERAN TERTINGGI (HET) Rp. 11.874,-**